A richiesta con la rivista, "I grandi della scienza": Pasteur

Le Scienze

Settembre 2013

€ 4,50

www.lescienze.it

edizione italiana di Scientific American

La vita su altre Terre

Studiando l'atmosfera dei pianeti extrasolari sarà possibile andare in cerca di segni di attività biologica

Longevità

Il ruolo della componente genetica nei processi che regolano l'invecchiamento

Etologia

Nuove ricerche suggeriscono che alcuni animali sperimentino il dolore del lutto

POSTE ITALIANE SPED. IN A.P. - D.L. 353/2003 CONV. L. 46/2004, ART. 1, C. 1, DCB - ROMA RIVISTA MENSILE - NUMERO 541

Cosa ti dice il cervello?

Nuovo. Imperdibile. In Esclusiva.

Ci sono più cose nel tuo cervello di quante tu ne possa immaginare, scoprile con i nuovi episodi di **Cosa ti dice il Cervello?**

Dal 16 settembre, ogni lunedì alle ore 20.55, su **National Geographic Channel HD**, canale 403.

Chiamaci **02.7070** o vieni su **sky.it/skyfamiglia**

NATIONAL GEOGRAPHIC CHANNEL HD

Nel pacchetto **Sky Famiglia** trovi anche NAT GEO WILD HD, NAT GEO ADVENTURE HD

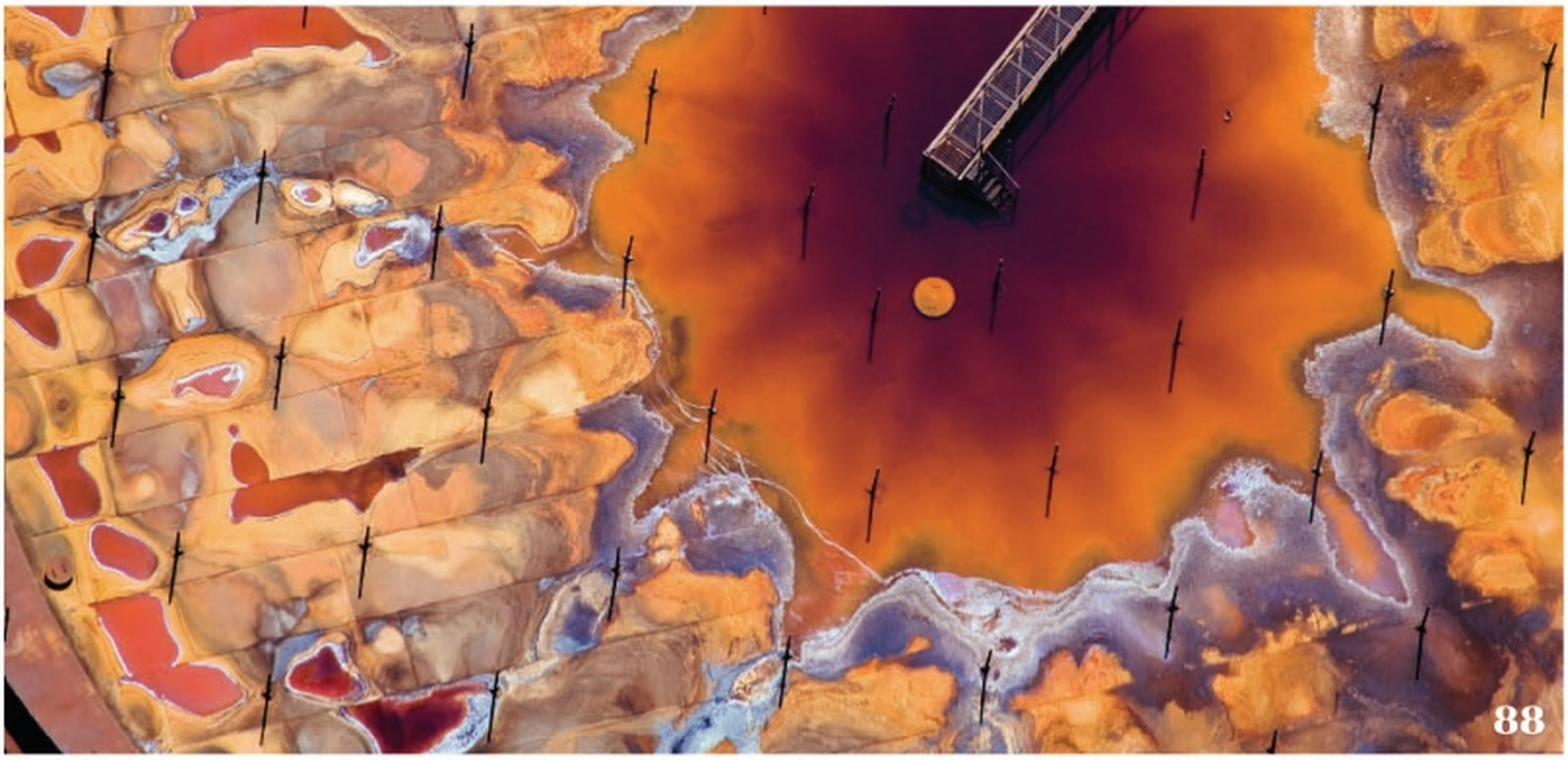
Disponibile anche su **Sky Go** e, solo per i clienti Sky da almeno un anno, su **Sky On Demand**

IN COPERTINA

La presenza ormai indiscutibile nella nostra galassia di un numero elevatissimo di pianeti, alcuni dei quali simili alla Terra, ha riacceso le speranze di individuare tracce di vita aliena. (Illustrazione di Don Foley)

Sommario

settembre 2013 numero 541



88

ASTRONOMIA

34 Albe di cieli lontani

di Michael D. Lemonick

La Via Lattea ospita un numero elevato di pianeti. Analizzandone l'atmosfera, si cercano indizi di vita extraterrestre

SALUTE GLOBALE

42 La peste del passato e del futuro

di Sally Lehrman

La tubercolosi sembra evolvere in maniera inaspettata, e diventare sempre più pericolosa

ETOLOGIA

48 Il senso del lutto negli animali

di Barbara J. King

Sempre più osservazioni suggeriscono che non siamo gli unici a soffrire per la perdita dei nostri cari

MEDICINA

54 Una volta ciechi, ora in grado di vedere

di Pawan Sinha

Un intervento chirurgico consente a bambini indiani di vedere per la prima volta e rivela come funziona la visione

FISICA

62 Muri d'acqua

di Dana Mackenzie

Le correnti oceaniche e altri fenomeni caotici sono ritenuti imprevedibili. Ma i matematici stanno trovando un senso nella follia della natura

CLIMATOLOGIA

66 La tempesta del secolo (ogni due anni)

di Mark Fischetti

Senza drastici interventi, la città di New York e l'intera costa orientale degli Stati Uniti potrebbero affrontare frequenti distruzioni

GENETICA

76 Geni e longevità

di Pier Giuseppe Pelicci

La scoperta di geni associati ai processi di invecchiamento e di allungamento della vita solleva alcuni interrogativi sulle loro funzioni e il loro ruolo nell'evoluzione umana

CHIMICA

82 Crepe nella tavola periodica

di Eric Scerri

La scoperta dell'elemento 117 ha riempito l'ultima posizione vuota nella tavola periodica degli elementi. Tuttavia, anche se è stata completata, la tavola di Mendeleev potrebbe perdere il suo potere predittivo

AMBIENTE

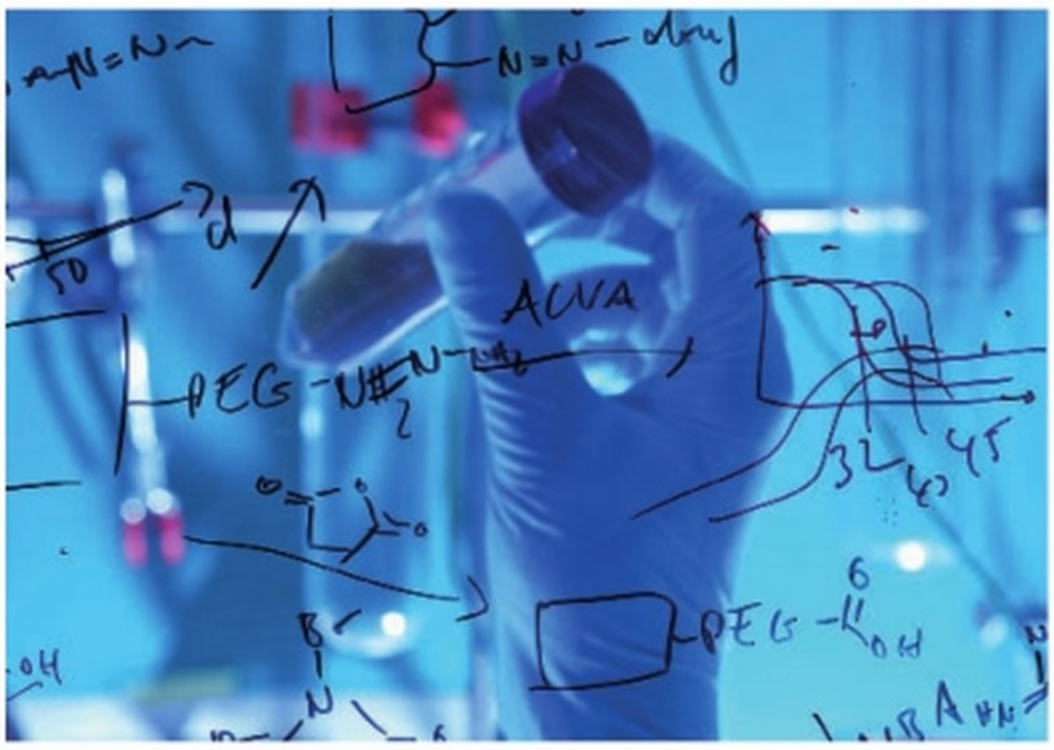
88 Sabbie, bitume, effetto serra

di David Biello

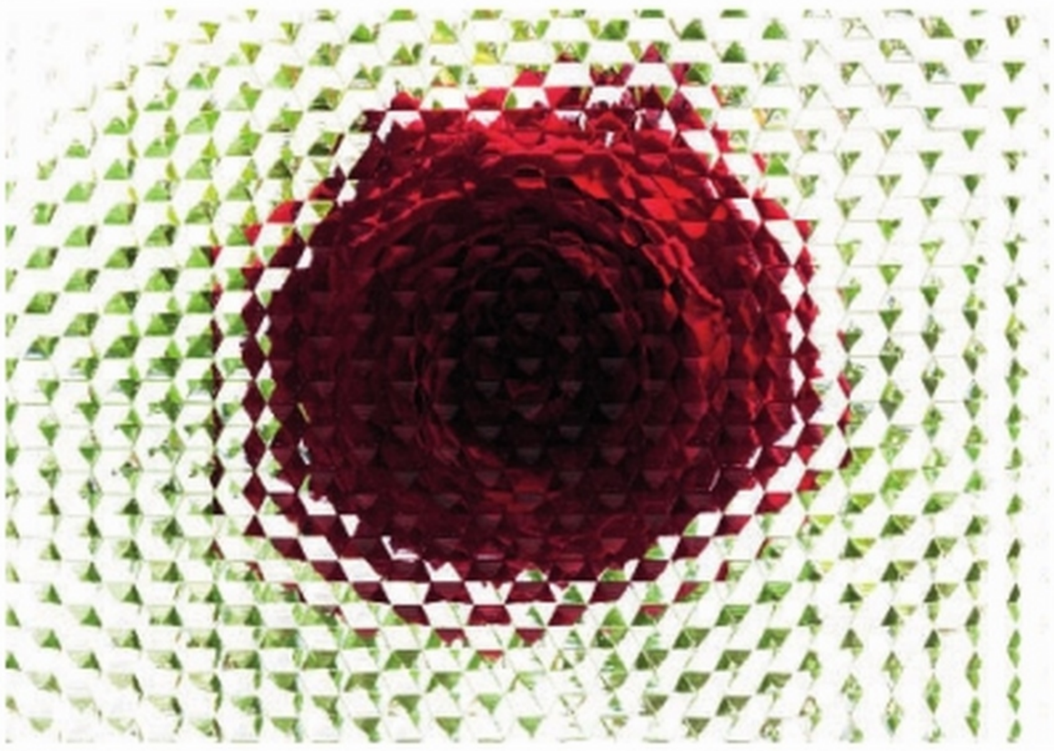
Lo sfruttamento sempre più massiccio delle sabbie bituminose da cui ricavare petrolio spinge la Terra verso una soglia pericolosa di anidride carbonica

J. Henry Fair (*sabbie*)

Sommario



14



20

21

Rubriche

7 **Editoriale**
di Marco Cattaneo

8 **Anteprima**

10 **Concorso fotografico**

12 **Lavori in corso**

14 **Intervista**
Una nanoparticella tira l'altra *di Silvia Bencivelli*

16 **Made in Italy**
Idrogeno sotto pressione *di Letizia Gabaglio*

18 **Scienza e filosofia**
I molti modi di dirla *di Elena Castellani*

19 **Appunti di laboratorio**
Peso, mortalità e statistica *di Edoardo Boncinelli*

20 **Il matematico impertinente**
La scienza di Lucrezio *di Piergiorgio Odifreddi*

21 **Astri & Particelle**
Il rumore di un'impronta *di Roberto Battiston*

22 **Homo sapiens**
Addio all'uomo dell'hobbit *di Giorgio Manzi*

94 **Rudi matematici**
«Sarah Connor?»
di Rodolfo Clerico, Piero Fabbri e Francesca Ortenzio

96 **Libri & tempo libero**

100 **Povera scienza**
No, la scienza non è democratica *di Paolo Attivissimo*

101 **Pentole & provette**
Alle origini dei nostri gusti *di Dario Bressanini*

SCIENZA NEWS

23 Le ragioni della guerra
24 I limiti del neutrino di Majorana
24 Perché la Terra cambia velocità di rotazione
24 L'incerto confine tra quanti e realtà
25 Una nuova classe di sorgenti radio
25 Le anomalie di Planck
26 Italia, un paese in chiaroscuro
26 Temperature senza termometri
28 Un modello animale per i falsi ricordi
28 Memoria a lungo termine anche per le scimmie antropomorfe
30 Il ruolo maschile del cromosoma femminile
30 Competizione cellulare embrionale
30 Banca dati genetica tra cugini
31 Spenti i geni della sindrome di Down
32 Brevissime

Cortesia Liberato Manna (*laboratorio*); Halfdark/fstop/Corbis (*microcosmo*); Jeff McMahon/University di Chicago (*South Pole Telescope*)

PERCHÉ PROPRIO QUESTO OROLOGIO?

È STATO TESTIMONE DI PAROLE CHE HANNO SCOSSO INTERE NAZIONI.

DI IMPRESE CHE HANNO APERTO NUOVI ORIZZONTI. SCELTO DA

TALENTI STRAORDINARI. SPIRITI AUDACI. GRANDI CAMPIONI.

NON SEGNA SOLO L'ORA, SEGNA LA STORIA.

ROLEX

L'IMPORTANTE NON È PARTECIPARE. È CORRERE PIÙ VELOCE.

Da oltre dieci anni facciamo correre Internet ad un'altra velocità.
Da allora non ci siamo più fermati.
QUESTA È FIBRA.

Jesse Owens, Berlino 1936

146 | fastweb.it | Punti Vendita

IMMAGINA, PUOI

FASTWEB
un passo avanti

di Marco Cattaneo

L'eredità di Sandy

Uno spartiacque per il cambiamento climatico

Era quasi la fine di ottobre, lo scorso anno, quando nel Mar dei Caraibi si formava una debole tempesta tropicale che si intensificava muovendosi lentamente verso nord, in direzione delle Grandi Antille. Nel giro di una settimana, Sandy si sarebbe trasformato nel più vasto uragano atlantico mai registrato, con venti che coprivano un fronte di 1800 chilometri, per investire con violenza Giamaica, Cuba, Bahamas, Haiti, Repubblica Dominicana e la costa orientale degli Stati Uniti, provocando almeno 250 vittime e danni per 65 miliardi di dollari.

Ma, soprattutto, Sandy ha colpito New York. Solo per riparare il sistema di trasporto metropolitano della città – spiega Mark Fischetti a pagina 66 – occorreranno 5 miliardi di dollari, mentre il piano per mettere in sicurezza la città presentato dal sindaco Michael Bloomberg prevede un investimento iniziale di 20 miliardi, destinato molto probabilmente a salire. E per proteggere le metropoli della costa orientale ce ne vorranno diverse centinaia. Ma d'altra parte secondo Paul Kirshen, professore di ricerca e ingegneria ambientale all'Università del New Hampshire, «ogni dollaro speso in protezione eviterà di spenderne quattro in riparazioni dopo una tempesta».

Eppure forse Sandy ce l'ha, un merito. Perché prima ancora di essere una metropoli tentacolare New York è un simbolo, come hanno dimostrato anche gli attentati dell'11 settembre. E nell'America nuovamente colpita nel suo cuore economico e culturale, questa volta da una catastrofe naturale, Sandy potrebbe aver cambiato una volta per tutte la percezione del cambiamento climatico e dell'esigenza di intervenire per mitigarne l'impatto, spuntando anche l'ultima arma a disposizione dei negazionisti.

A volte infatti, parlando dell'innalzamento della temperatura, capita di sentirsi rispondere che la temperatura della Terra è stata anche molto più alta, in epoche remote. Ecco, eventi estremi come Sandy – che secondo molti climatologi potrebbero avere in futuro una frequenza molto maggiore, fino a uno ogni due anni – mettono in chiaro la fallacia di questo argomento. Perché quando la temperatura era molto più alta non c'era una civiltà evoluta, complessa, strutturata come ai giorni nostri. Né c'erano centinaia di milioni di abitanti ammassati in gigantesche metropoli sulle coste di mezzo mondo, con strade, linee elettriche e quant'altro.

Bebeto Matthews/AP Photo

Se non bastasse, uno studio pubblicato su «Nature Climate Change» il 18 agosto avvisa che i danni causati dagli eventi climatici estremi nelle città costiere potrebbero arrivare a 60 miliardi di dollari all'anno, per un totale di 1000 miliardi da qui al 2050. Le più a rischio, insieme a New York, sarebbero Miami, New Orleans, Guangzhou (Canton) e Mumbay.

Al di là di vittime, danni e devastazione, è questa l'eredità di Sandy: una nuova coscienza della fragilità del mondo che abbiamo costruito. Dobbiamo metterlo nel conto una volta per tutte. Prima che sia troppo tardi per tornare sui nostri passi.

Comitato scientifico

Leslie C. Aiello
presidente, Wenner-Gren Foundation for Anthropological Research

Roberto Battiston
professore ordinario di fisica sperimentale, Università di Trento

Roger Bingham
docente, Center for Brain and Cognition, Università della California a San Diego

Edoardo Boncinelli
docente, Università Vita-Salute San Raffaele, Milano

Arthur Caplan
docente di bioetica, Università della Pennsylvania

George M. Church
direttore, Center for Computational Genetics, Harvard Medical School

Rita Colwell
docente, Università del Maryland a College Park e Johns Hopkins Bloomberg School of Public Health

Drew Endy
docente di bioingegneria, Stanford University

Ed Felten
direttore, Center for Information Technology Policy, Princeton University

Michael S. Gazzaniga
direttore, Sage Center for the Study of Mind, Università della California a Santa Barbara

David Gross
docente di fisica teorica, Università della California a Santa Barbara (premio Nobel per la fisica 2004)

Daniel M. Kammen
direttore, Renewable and Appropriate Energy Laboratory, Università della California a Berkeley

Christof Koch
docente di biologia cognitiva e comportamentale, California Institute of Technology

Lawrence M. Krauss
direttore, Origins Initiative, Arizona State University

Morten L. Kringelbach
direttore, Hedonia: TrygFonden Research Group, Università di Oxford e Università di Aarhus

Steven Kyle
docente di economia applicata e management, Cornell University

Robert S. Langer
docente, Massachusetts Institute of Technology

Ernest J. Moniz
docente, Massachusetts Institute of Technology

John P. Moore
docente di microbiologia e immunologia, Weill Medical College, Cornell University

M. Granger Morgan
docente, Carnegie Mellon University

Miguel Nicolelis
condirettore, Center for Neuroengineering, Duke University

Martin Nowak
direttore, Program for Evolutionary Dynamics, Harvard University

Robert Palazzo
docente di biologia, Rensselaer Polytechnic Institute

Telmo Pievani
professore associato filosofia delle scienze biologiche, Università degli Studi di Padova

Carolyn Porco
leader, Cassini Imaging Science Team, e direttore, CICLOPS, Space Science Institute

Vilayanur S. Ramachandran
direttore, Center for Brain and Cognition, Università della California a San Diego

Lisa Randall
docente di fisica, Harvard University

Carlo Alberto Redi
docente di zoologia, Università di Pavia

Martin Rees
docente di cosmologia e astrofisica, Università di Cambridge

John Reganold
docente di scienza del suolo, Washington State University

Jeffrey D. Sachs
direttore, The Earth Institute, Columbia University

Terry Sejnowski
docente e direttore del Laboratorio di neurobiologia computazionale, Salk Institute for Biological Studies

Michael Snyder
docente di genetica, Stanford University School of Medicine

Giorgio Vallortigara
docente di neuroscienze, direttore associato, Centre for Mind/Brain Sciences, Università di Trento

Lene Vestergaard Hau
docente di fisica e fisica applicata, Harvard University

Michael E. Webber
direttore associato, Center for International Energy & Environmental Policy, Università del Texas ad Austin

Steven Weinberg
direttore, gruppo di ricerca teorica, Dipartimento di fisica, University del Texas ad Austin (premio Nobel per la fisica 1979)

George M. Whitesides
docente di chimica e biochimica, Harvard University

Nathan Wolfe
direttore, Global Viral Forecasting Initiative

Anton Zeilinger
docente di ottica quantistica, Università di Vienna

Perché non andiamo d'accordo

Menti tribali, di Jonathan Haidt, è il libro in edicola con il numero di ottobre

Uno dei tratti distintivi della vita politica italiana è l'estremo livello di conflittualità degli attori in gioco, che si riverbera nei rapporti tra i cittadini. Ormai si è arrivati al punto di evitare attentamente di parlare di politica se non si è sicuri della tenuta del rapporto con gli interlocutori, visto che il rischio di un furioso litigio è sempre dietro l'angolo. Insomma, siamo nel 2013 e in piena democrazia, ma in ambito politico sembra emergere un tribalismo di remota memoria nella storia umana. Se poi l'orizzonte si allarga a conflitti in cui la componente religiosa pesa parecchio, che sia tra religioni diverse o tra confessioni differenti di una stessa religione, allora il quadro tribale è ancora più netto.

Tutto questo può sembrare un'ovvia constatazione se presa dal punto di vista sociale, ma diventa meno ovvia, anzi assai oscura, quando si prova a inquadrarla dal punto di vista scientifico. Perché è così difficile andare d'accordo? Una risposta approfondita ed estesa a una domanda in apparenza banale arriva dagli studi di psicologia, in particolare di psicologia morale, come quelli di Jonathan Haidt, professore alla New York University e autore di *Menti tribali*, il libro che troverete in edicola con «Le Scienze» di ottobre e in vendita nelle librerie per Codice Edizioni.

Mette subito le cose in chiaro Haidt, per il quale la morale è una straordinaria dote umana che ha reso possibile la civiltà grazie al suo ruolo di collante per gruppi di individui sempre più grandi, che siano liberali o conservatori, cristiani o musulmani, tanto per fare due esempi. Tutti noi cerchiamo di giustificare l'appartenenza a un gruppo, e l'adesione ai valori morali di quel gruppo è un processo estremamente efficiente per essere accettati e farci sentire tali. In effetti, argomenta l'autore, la nostra natura è intrinsecamente morale e moralistica, siamo sempre pronti a esprimere giudizi e le intuizioni morali nascono in modo automatico prima che scatti il ragionamento. I problemi arrivano quando l'aderenza ai valori morali è così forte da far smarrire la bussola o, in altre parole, da sovrastare il pensiero cosciente e strategico. Un po' come quel portatore che perde il controllo sull'elefante, per dirla con la metafora usata da Haidt.

Ma quali sono queste intuizioni morali? Sulla base dei propri studi, l'autore ne identifica sei legate a concetti relativi al danno (o alla sofferenza), alla correttezza (o all'ingiustizia), alla libertà e poi ancora intuizioni morali collegate alla lealtà, sacralità e autorità. La mente virtuosa, spiega Haidt, è come una lingua che ha sei recettori, uno per ciascuna di queste categorie morali. Proprio come alcune ricette riescono per la loro capacità di stimolare in modo armonioso tutti i recettori della lingua, anche alcune ricette morali riescono ad attrarre individui con più efficienza. Il che, traslato nel mondo politico, implica capacità di attirare elettori, ecco perché per Haidt i politici di destra hanno un vantaggio intrinseco: sanno attivare anche papille gustative morali che la sinistra non sollecita, per esempio quella dell'autorità.

Siamo quindi destinati a restare divisi in gruppi tribali di moralità differenti? Altra domanda, altra metafora: gli esseri umani sono per il 90 per cento scimpanzé e per il 10 per cento api. Discendiamo da primati che eccellevano nella competizione tra esemplari di un gruppo e tra gruppi. Ma non sempre siamo ipocriti egoisti, spinti da un profondo individualismo retaggio del passato. L'evoluzione agisce anche a livello di gruppi, e studi recenti hanno mostrato che i gruppi coesi sconfiggono i gruppi composti da egoisti. Possiamo quindi essere come api che lavorano per il bene comune di un alveare. Basta fare un passo indietro rispetto al proprio moralismo e analizzare il gioco a cui tutti giochiamo.

John Lund/Drew Kelly/Blend Images/Corbis

RISERVATO AGLI ABBONATI

Gli abbonati possono acquistare i volumi di **La Biblioteca delle Scienze** al prezzo di € 7,90 incluso il prezzo di spedizione e telefonando al numero 199.78.72.78 (0864.256266 chi chiama da telefoni non abilitati).

La stessa offerta è valida per acquistare i volumi della collana **I grandi della scienza** nella nuova edizione al prezzo di € 6,90 incluso il prezzo di spedizione.
Il costo massimo della telefonata da rete fissa è di 14,37 cent di euro al minuto più 6,24 cent di euro di scatto alla risposta (IVA inclusa). Per chiamate da rete mobile il costo massimo della chiamata è di 48,4 cent di euro al minuto più 15,62 cent di euro di scatto alla risposta (IVA inclusa).

Ritratto di un genio scomparso

A ottobre *Majorana*, di Luisa Bonolis, nona uscita per *I grandi della scienza*

L'enigmatica scomparsa avvenuta nel 1938 ha fatto di Ettore Majorana un personaggio sul quale scrivere tutto e il suo contrario, una figura da cronaca sensazionalistica, basti citare i tanti annunci di avvistamenti oppure i numerosi articoli sulle presunte scoperte riguardo alla sua vera fine. Complice anche una vita misteriosa, prodotto del carattere schivo e taciturno di Majorana, sono pochissime le pubblicazioni di carattere storico e storico-scientifico che hanno cercato di indagare a fondo nel vissuto di uno dei grandi geni della fisica mondiale.

Potrebbe sembrare eccessivo definire così Majorana, sparito nel nulla quando aveva poco più di trent'anni, ma le poche carte a disposizione dimostrano proprio questo, lasciando un rimpianto per ciò che avrebbe potuto essere la sua carriera se tutto non fosse finito un giorno di marzo di 75 anni fa, tra Palermo e Napoli, per motivi ancora oggi ignoti, come racconta Luisa Bonolis, storica della fisica, in *Majorana. Il genio scomparso*, nono volume della collana *I grandi della scienza*, in edicola a 6,90 euro in più con il numero di ottobre di «Le Scienze», dedicato alla complessa e importante figura del fisico siciliano.

ANSA

Trasferitosi a Roma da Catania dopo le prime classi elementari, nel 1929 Majorana si laurea con 110 e lode con la tesi *Sulla meccanica dei nuclei radioattivi* di cui è relatore Enrico Fermi. Erano anni d'oro, teoria della relatività einsteiniana e meccanica quantistica erano conquiste recenti, e la fisica era una prateria da esplorare, una posto senza confini per menti audaci e coraggiose. Proprio come Majorana, che in poco tempo era diventato uno degli allievi più promettenti di Fermi, uno dei giovani ricercatori che sarebbero passato alla storia come «i ragazzi di via Panisperna».

Subito dopo la tesi, il giovane Ettore si dedica a lavori di spettroscopia atomica e fisica molecolare, e nei primi anni trenta raggiunge risultati di livello mondiale, con lavori che sono cruciali per la nascita della fisica nucleare teorica e della fisica delle particelle elementari. Nel 1932 scrive un articolo in cui compare un'equazione a infinite componenti per particelle a spin qualunque nella quale anticipa concetti e metodi che saranno riconsiderati e verificati molti anni dopo da Paul Dirac e Wolfgang Pauli. Sempre nel 1932, Majorana scrive un articolo sulla teoria dei nuclei in cui ipotizza forze di scambio delle posizioni spaziali di neutroni e protoni, forze quantistiche che assicurano la stabilità del nucleo atomico.

Si tratta di un'ipotesi analoga a quella elaborata nello stesso periodo in modo indipendente dal tedesco Werner Heisenberg, solo che quella di Majorana sarà pubblicata solo nel 1933, a causa della sua cronica ritrosia alla pubblicazione dei risultati. In quegli stessi anni soggiorna per alcuni mesi a Lipsia, dove ha anche occasione di stringere amicizia con Heisenberg, e a Copenhagen, all'istituto diretto da Niels Bohr. Nel 1937 è nominato professore di fisica teorica all'Università di Napoli per chiara fama, e decide di pubblicare un altro suo scritto del 1933 in cui tra l'altro vengono ipotizzate particelle che prenderanno poi il nome di fermioni di Majorana, particelle che sono contemporaneamente le proprie antiparticelle, tra le protagoniste della ricerca attuale.

Ma ormai nella testa di Ettore c'è qualcosa che non va più come dovrebbe, complice forse anche la morte del padre, avvenuta nel 1934. Il fisico siciliano accentua ancora di più il suo isolamento. La sera del 25 marzo 1938 si imbarca a Napoli sul «postale» diretto a Palermo. Sembra sia arrivato a destinazione, ma da quel momento si perdono le sue tracce.

TUTTE LE USCITE

I titoli pubblicati nei mesi precedenti, da febbraio ad agosto sono: Galileo, Newton, Darwin, Einstein, Copernico, Heisenberg e Poincaré.

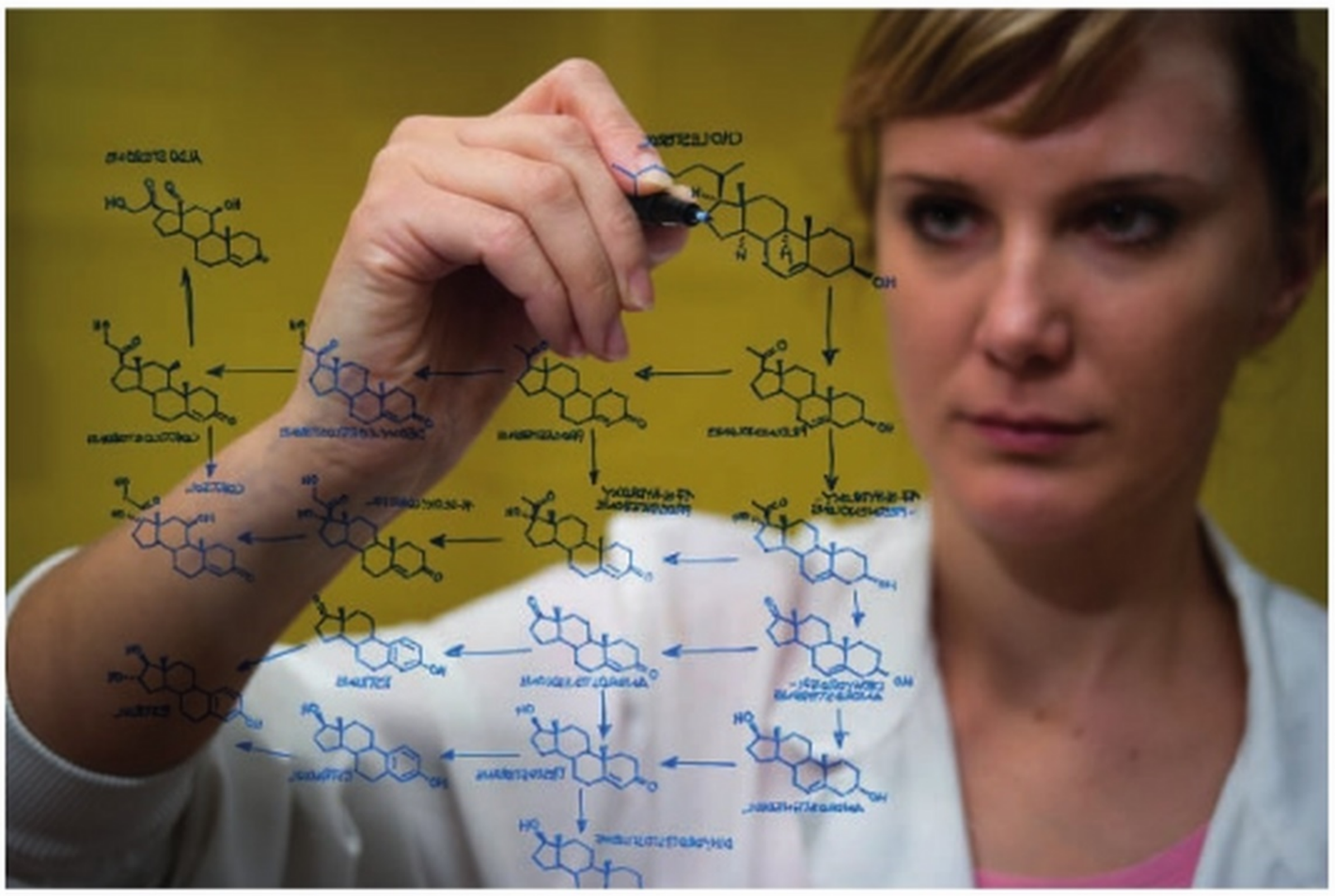
Pasteur
Dal microscopio alla Legion d'onore
di Pietro Dri

Majorana
Il genio scomparso
di Luisa Bonolis

Keplero
Leggi per l'armonia dell'universo
di Anna Maria Lombardi

Feynman
La vita di un fisico irriverente
di Elena e Leonardo Castellani

Scatti di scienza per giovani ricercatori



I vincitori del 2012. A sinistra la foto prima classificata dello scorso anno, sopra dall'alto, la seconda e la terza.

Continua per tutto il mese di settembre e oltre il concorso fotografico «La ricerca biomedica protagonista del tuo scatto», organizzato da «Le Scienze» con il Corso di laurea in comunicazione scientifica biomedica della «Sapienza» Università di Roma, con la collaborazione di Abbott. Anche questa terza edizione – il cui bando, insieme al modulo di partecipazione, trovate in queste pagine – è destinata al personale non strutturato delle università italiane, dagli studenti agli assegnisti di ricerca, ed è dotata di un monte premi di 8000 euro (5000 per il primo classificato, 2000 per il secondo, 1000 per il terzo) in buoni acquisto che potranno essere sfruttati per l'acquisto di materiali di laboratorio, macchine fotografiche, viaggi o altri beni.

Perciò controllate se avete i requisiti per partecipare e mettetevi al lavoro. Avete tempo fino al 21 ottobre per inviarci il materiale prodotto. La giuria selezionerà i vincitori non solo in base alla qualità fotografica, ma anche alla capacità di offrire una visione inconsueta della ricerca biomedica e delle sue applicazioni.

Modulo di partecipazione al concorso di fotografia 2013 Le Scienze

NOME _____
COGNOME _____
DATA E LUOGO
DI NASCITA _____
RESIDENZA _____
_____
INDIRIZZO _____
(se diverso dalla residenza) _____

TELEFONO (**) _____
EMAIL (**) _____

TITOLO DELLA
FOTOGRAFIA _____
LUOGO E DATA
DELLO SCATTO _____

(**) dati facoltativi

Ai sensi degli articoli 13 e 23 del d.lgs.196/2003 dichiaro di aver preso atto dell'informativa relativa al trattamento dei miei dati pubblicata sul sito www.lescienze.it e liberamente acconsento:
al trattamento dei miei dati personali da parte del titolare Gruppo Editoriale L'Espresso SpA e delle società controllate e/o collegate alla controllante, per le finalità promozionali e commerciali illustrate nell'informativa

(do il consenso) ❑ (nego il consenso) ❑

alla comunicazione dei miei dati personali ai soggetti terzi indicati nell'informativa e al loro successivo trattamento per finalità promozionali e commerciali

(do il consenso) ❑ (nego il consenso) ❑

* Chi invia più di una fotografia può fotocopiare il modulo a patto che le copie siano accompagnate da almeno un coupon originale.

Concorso di fotografia 2013

La ricerca biomedica protagonista del tuo scatto. III edizione

Estratto del regolamento. Il Regolamento completo è consultabile su www.lescienze.it

CHI PUÒ PARTECIPARE

Studenti universitari, dottorandi, specializzandi, borsisti, assegnisti di ricerca di tutte le Università italiane e degli Enti pubblici di ricerca.

COME PARTECIPARE AL CONCORSO

Ciascun concorrente può partecipare con un massimo di 6 (sei) fotografie, il cui tema dovrà essere attinente all'attività di ricerca nel campo biomedico. E alle sue applicazioni a beneficio dell'uomo. Le fotografie potranno illustrare ogni aspetto della ricerca, con una particolare attenzione ai soggetti coinvolti nello svolgimento e/o nelle applicazioni della ricerca stessa.

L'invio di più immagini rispetto a quelle previste verrà sanzionato con l'esclusione dal Concorso.

Ogni fotografia dovrà recare, incollato sul retro, il modulo di partecipazione al Concorso (coupon) pubblicato su Le Scienze dei mesi di agosto, settembre oppure ottobre 2013, integralmente compilato in stampatello e completo di firma leggibile; nel caso si partecipi con più fotografie, è possibile utilizzare fotocopie del coupon, anch'esse debitamente compilate e firmate, da applicare sulle ulteriori foto. Ogni immagine dovrà comunque riportare sul retro un coupon correttamente compilato e sottoscritto e almeno una delle fotografie inviate dovrà riportare il coupon originale, pena l'esclusione dal Concorso.

SUPPORTI AMMESSI

Si accettano solo stampe a colori o in bianco e nero.
Sono ammesse sia immagini scattate su pellicola (negativa o diapositiva), sia realizzate con apparecchi digitali. Non verranno accettate fotografie incorniciate o montate su telaio di alcun tipo (vetro, passe-partout, cartoncino, ecc.). Gli originali (file digitali o pellicola) dovranno essere a disposizione di Le Scienze per la pubblicazione. Le stampe non saranno restituite.
Sono ammesse immagini riprese con cellulari e smartphone.

REQUISITI

Le fotografie non devono essere state premiate in altri concorsi, inclusi quelli indetti da Le Scienze, e devono essere state scattate da non più di due anni dal 1° agosto 2013.
Le fotografie in cui compaiono persone riconoscibili devono essere corredate da liberatoria firmata, scaricabile dal sito www.lescienze.it, pena l'esclusione dal Concorso.

PERIODO DI VALIDITÀ

Le fotografie devono essere inviate in busta chiusa e regolarmente affrancata a "Le Scienze S.p.A., Via Cristoforo Colombo, 90, 00147 Roma" nel periodo compreso tra il 1° agosto 2013 e il 21 ottobre 2013 incluso. Saranno accettate soltanto le fotografie inviate nel corso del suddetto periodo di validità ed esclusivamente con le modalità sopraindicate. Fa fede la data del timbro postale.

In collaborazione con

Laurea Magistrale
Comunicazione Scientifica Biomedica
SAPIENZA UNIVERSITÀ DI ROMA

Realizzato grazie al contributo incondizionato di

Abbott
A Promise for Life

GIURIA

Entro il giorno 15 novembre 2013 – in presenza di un funzionario delegato dal Tutore della fede pubblica della locale CCIAA di Roma, in qualità di garante e tutore della fede pubblica, il quale avrà esclusivamente il compito di vigilare sulla regolarità delle operazioni – si riunirà una giuria appositamente predisposta e composta da
Marco Cattaneo
Arnaldo D'Amico
Fabio Naro
Micaela Luccio
Marco Pinna
o da altre persone da loro delegate, presso la sede di Roma sita in Via Cristoforo Colombo, 90.
La giuria valuterà le immagini sulla base della creatività e della qualità fotografica. La giuria nominerà i primi quattro classificati e quattro riserve.
La giuria si riserva, a suo insindacabile giudizio, di non accettare quelle immagini la cui realizzazione si presume rechi danno a Le Scienze e di assegnare i premi secondo il suo giudizio tecnico e culturale.
Il parere della giuria (espresso in presenza di un tutore della fede pubblica) sarà insindacabile.

VINCITORI

I vincitori saranno contattati ai recapiti dai medesimi indicati nel coupon tramite e-mail e raccomandata A/R. I vincitori dovranno inviare per accettazione, entro e non oltre 30 giorni dalla data di ricezione della raccomandata A/R, l'apposito modulo contenuto nella e-mail e nella raccomandata A/R ricevute, completo di sottoscrizione e corredato da copia di documento identificativo in corso di validità, al numero di fax o agli indirizzi (e-mail e postale) indicati nel modulo stesso. In caso di vincitori non rintracciabili e/o di mancato invio da parte del vincitore del modulo di accettazione del premio entro il termine stabilito e/o di revoca del premio assegnato al vincitore per insussistenza dei requisiti essenziali per la partecipazione al Concorso, subentreranno i nominativi individuati dalla giuria come riserve, nell'ordine dalla giuria stessa definito.

AVVERTENZE

L'autore di ciascuna fotografia inviata dichiara e garantisce a Le Scienze:

- **di essere l'autore delle foto inviate e di essere il titolare esclusivo e legittimo di tutti i diritti di autore e di sfruttamento,** anche economico, di ciascuna fotografia, quindi di possedere ogni diritto di riproduzione;
- **di aver acquisito da terzi legittimati tutti i diritti d'immagine** e/o diritti di terzi, in generale, per quanto ritratto;
- **di essere responsabile del contenuto delle proprie opere,** manlevando e mantenendo indenne Le Scienze da qualsiasi pretesa e/o azione di terzi e sarà tenuto a risarcire Le Scienze da qualsiasi conseguenza pregiudizievole, ivi incluse eventuali spese legali, anche di carattere stragiudiziale, che Le Scienze dovesse subire in conseguenza della violazione di quanto sopra indicato.

Partecipando al Concorso, l'autore di ciascuna fotografia concede, a titolo gratuito, a Le Scienze, alle società controllate e/o collegate al Gruppo Editoriale L'Espresso S.p.A. il diritto di pubblicare le immagini inviate su Le Scienze e su tutte le testate e i siti internet di proprietà di società facenti parte del Gruppo Editoriale L'Espresso S.p.A., sugli stampati inerenti la premiazione, su supporti informatici o per esposizioni promozionali del Concorso stesso, nonché in occasione di mostre o eventi nazionali e internazionali promossi da Le Scienze ovvero con il suo patrocinio e/o partecipazione, con l'unico onere di citare ogni volta l'autore delle fotografie. La cessione qui regolata è a titolo gratuito anche in considerazione dell'effetto promozionale che ricadrà sulle fotografie inviate e sull'autore delle stesse.
La partecipazione al Concorso implica, da parte del partecipante, l'accettazione incondizionata del presente regolamento. È responsabilità di ogni partecipante, assicurarsi che la pubblicazione delle fotografie non sollevi alcun tipo di controversia legale e non sia lesiva di altrui diritti.

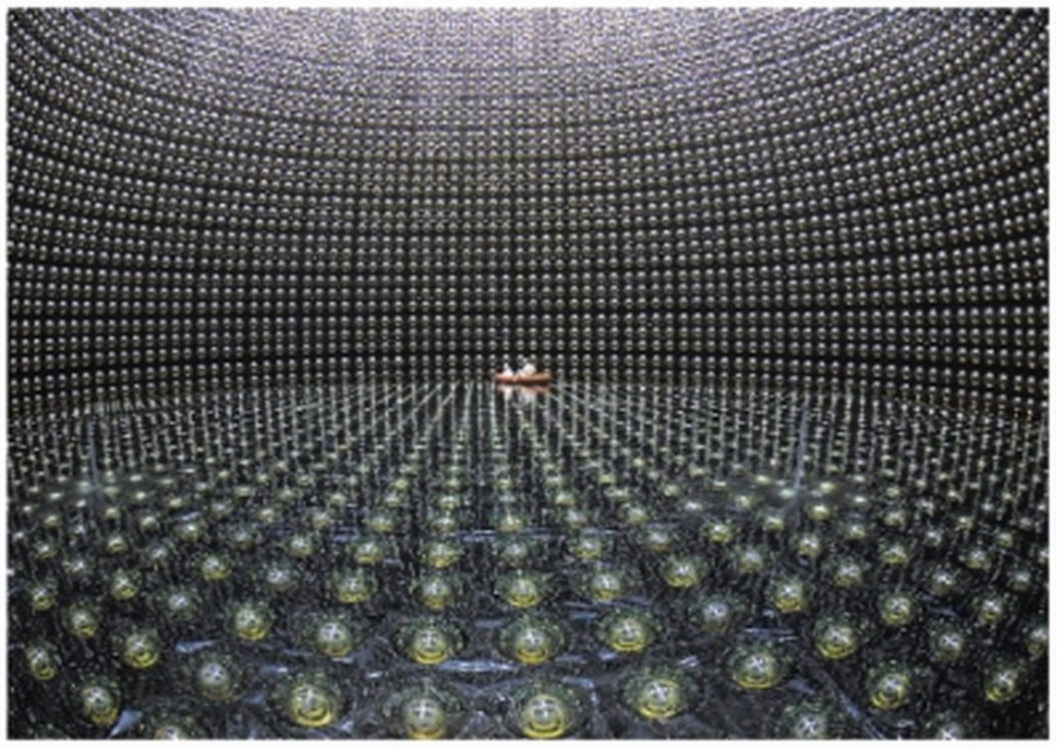
Per informazioni rivolgersi a:
Redazione Le Scienze: fax, 06 49823183;
e-mail, redazione@lescienze.it

a cura di Giovanni Spataro

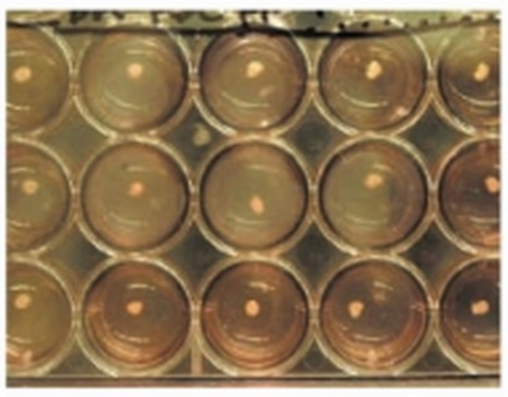
Neutrini sempre più oscillanti

Dimostrata in modo definitivo l'oscillazione da neutrini muonici a elettronici

Grazie a Super-Kamiokande (*nella foto*) la natura dei neutrini è ancora meno misteriosa (si veda *Lampi di una nuova fisica*, in «Le Scienze» n. 538, giugno 2013). Come annunciato a Stoccolma, alla conferenza della European Physical Society, il rivelatore giapponese ha dimostrato in modo diretto e definitivo l'oscillazione da neutrini muonici a neutrini elettronici in fasci di queste particelle prodotti dall'acceleratore JPARC, sempre in Giappone, e intercettati da Super-Kamiokande, distante 295 chilometri. Il risultato, frutto della collaborazione internazionale T2K che vede la partecipazione significativa di ricercatori dell'Istituto nazionale di fisica nucleare (INFN), conferma un risultato preliminare ottenuto sempre da T2K nel 2011, e va ad aggiungersi alla scoperta del rivelatore OPERA dei Laboratori nazionali del Gran Sasso dell'INFN che nel 2010 ha registrato l'oscillazione da muonici a tauonici in neutrini prodotti al CERN di Ginevra e indirizzati verso il Gran Sasso.



Sorprendenti iPS



Prospettiva trapianto. Frammenti di fegato umano ottenuti in laboratorio da cellule staminali pluripotenti indotte.

Le cellule staminali pluripotenti indotte (iPS, da *induced pluripotent stem cells*), ottenute da cellule adulte rirpogrammate per tornare allo stato staminale, continuano a essere protagoniste della ricerca biomedica.

Un gruppo di scienziati giapponesi diretto da Takanori Takebe, dell'Università di Yokohama, ha usato iPS umane per generare in laboratorio piccoli fegati. Come riportato su «Nature», i ricercatori hanno prima generato frammenti di fegato, del diametro di 4-5 millimetri, grazie a una miscela di staminali pluripotenti indotte, staminali mesenchimali e cellule endoteliali primarie. Poi hanno innestato questi frammenti in roditori, ottenendo lo sviluppo completo di piccoli fegati umani del tutto vascolarizzati e in parte funzionali. Questo risultato apre interessanti prospettive per la sintesi di organi da usare nei trapianti (si veda *La cura che viene da dentro*, in «Le Scienze» n. 503, luglio 2010).

Un'altra ricerca, diretta da Hongkui Deng dell'Università di Pechino, ha invece permesso di compiere un passo avanti nella generazione delle iPS. Come spiegato su «Science», Deng e colleghi hanno riprogrammato cellule adulte di topo a staminali pluripotenti usando una miscela di sette composti, ottenendo così quelle che hanno chiamato CiSP (Chemically induced Pluripotent Stem Cells). Questa procedura riduce il rischio di mutazioni pericolose e cancro rispetto alla procedura che riprogramma le cellule adulte inserendo specifici geni nel loro DNA (si veda *Riprogrammare cellule umane*, in «Le Scienze» n. 480, agosto 2008).

Onde simulate

Primi risultati per il Blue Brain Project, il progetto finanziato dalla Commissione Europea con un miliardo di euro che punta a simulare il funzionamento completo del cervello umano su supercomputer (si veda *Progetto cervello umano*, in «Le Scienze» n. 528, agosto 2012).

Finto ma vero. Grazie ai supercomputer, i ricercatori sperano di simulare il funzionamento del nostro cervello.

Michael W. Reinmann e colleghi, del Politecnico di Losanna (EPFL), hanno simulato l'attività di una rete di 12.000 neuroni di topo, riuscendo a riprodurre onde cerebrali assai simili a quelle che si registrano nei roditori con un elettroencefalogramma. In particolare, come ha spiegato Sean Hill, ricercatore dell'EPFL che ha partecipato allo studio pubblicato su «Neuron»: «È la prima volta che si dimostra che il complesso funzionamento dei canali ionici contribuisce a determinare la forma delle onde cerebrali».

Quanti sono gli esopianeti?

Secondo la NASA, i pianeti di altri sistemi stellari nella nostra regione del cosmo sono 861 (*si veda l'articolo a p.34*) e sono 3617 gli oggetti celesti candidati al ruolo di esopianeti. Forse però il conto è da rifare.

Una serie di simulazioni effettuate da Wladimir Lyra e Marc Kuchner, ricercatori rispettivamente del Jet Propulsion Laboratory e del Goddard Space Flight Center della NASA, hanno suggerito che in alcuni casi le irregolarità a le lacune osservate nei dischi protoplanetari non sarebbero dovute a effetti gravitazionali di pianeti extrasolari, ma a complesse interazioni tra gas e polveri che compongono i dischi stessi. Un bel problema, visto che proprio uno dei metodi indiretti di rilevazione degli esopianeti (si veda *Nuovi sistemi solari*, in «Le Scienze» n. 463, marzo 2007) sfrutta queste anomalie nei dischi protoplanetari prodotte da forze mareali generate dai pianeti in orbita attorno ad altre stelle.

Quindi, secondo i risultati di Lyra e Kuchner, pubblicati su «Nature», il numero dei pianeti extrasolari rilevati fino a oggi potrebbe essere inferiore.

Cortesia Kamioka Observatory/ICRR/Università di Tokyo (*Super-Kamiokande*); cortesia Takanori Takebe (*frammenti fegato in vitro*); Pasieka/Science Photo Library/Corbis (*cervello e onde cerebrali*)

LOWE PIRELLA

RINFRESCATI
le
IDEE:
NON
SMETTERE
di
RICICLARMI

IN VACANZA,
IL RICICLO DEGLI IMBALLAGGI IN PLASTICA VALE DOPPIO.

Con il patrocinio del

MINISTERO
DELL'AMBIENTE
E DELLA TUTELA
DEL TERRITORIO
E DEL MARE

In estate dissetarsi fa bene al corpo e alla mente, così come non dimenticare le buone abitudini: una di queste è la raccolta differenziata degli imballaggi in plastica. Basta un piccolo sforzo per informarsi e capire come funziona, anche lontano da casa. I rifiuti non finiscono da soli in mare o sulla spiaggia: sta anche a te proteggere la qualità dell'ambiente. In questo modo eviti i rifiuti abbandonati e permetti a COREPLA di dare una nuova vita alla plastica. Perché d'estate restare in forma è importante, anche per l'ambiente.

LA PLASTICA. TROPPO PREZIOSA PER DIVENTARE UN RIFIUTO.

Per saperne di più: | | | **corepla.it**

COREPLA

Corepla è il consorzio senza scopo di lucro per il riciclo e il recupero degli imballaggi in plastica

di Silvia Bencivelli

Una nanoparticella tira l'altra

Liberato Manna, dell'Istituto italiano di tecnologia, è uno dei chimici più importanti al mondo, e ha appena ricevuto uno dei riconoscimenti più ambiti del settore

Secondo Thomson Reuters è uno dei 100 chimici più importanti al mondo (il ventiquattresimo, per la precisione). Ma, soprattutto, ha appena ricevuto un importante premio per la sua carriera da *young investigator* (l'Early-Career Award in Experimental Physical Chemistry da parte dell'American Chemical Society), e può vantare una lunga serie di riconoscimenti e un numero altissimo di pubblicazioni e citazioni, a 42 anni. Ma per Liberato Manna, direttore del Dipartimento di nanochimica all'Istituto italiano di tecnologia (IIT) di Genova, non è questa la cosa importante. Perché uno scienziato non cerca queste cose: cerca altro.

Quali sono le ricerche per cui è stato premiato?

Faccio ricerca sui nanocristalli inorganici, non solo per il loro processo di fabbricazione quanto per l'interazione che hanno con l'ambiente circostante. Da qui, poi, vengono molte possibilità di applicazione. Il premio dell'American Chemical Society viene riconosciuto per i risultati ottenuti nei primi dieci anni da *indipendent investigator*, cioè da quando è finito il percorso formativo dopo dottorato e post-dottorato, un periodo per me iniziato nel 2003 con il rientro in Italia dagli Stati Uniti.

Andiamo per ordine. Innanzitutto che cosa sono i nanocristalli inorganici?

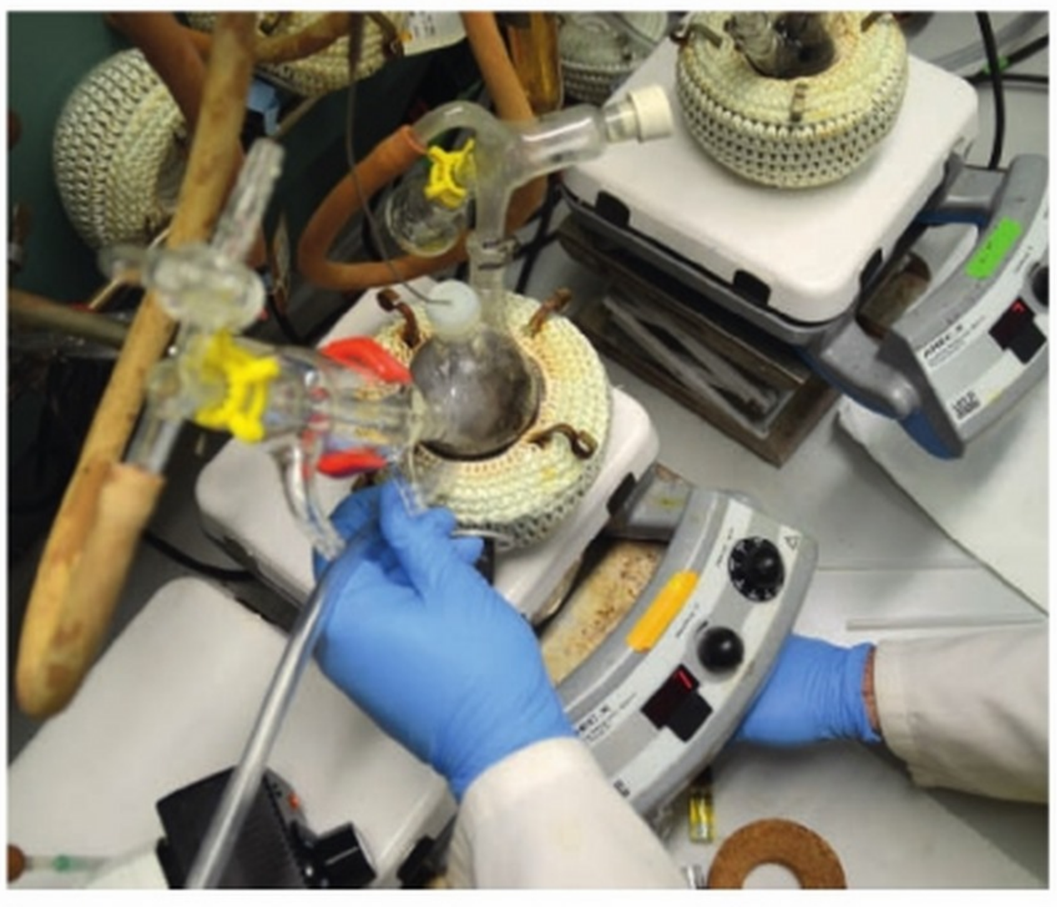
Sono piccolissime porzioni di un solido che hanno dimensioni da uno a qualche decina di nanometri. Sono oggetti notevoli perché la materia, quando la spezzetti così tanto, comincia a mostrare proprietà nuove rispetto al cristallo macroscopico. Vale a dire, la fisica è sempre quella della meccanica quantistica, ma il sistema si comporta in maniera diversa.

Consideriamo per esempio la temperatura di fusione. Se sminuzziamo un solido, la percentuale di atomi sulla sua superficie rispetto al totale smette di essere trascurabile e la temperatura di fusione si abbassa. Oppure, se vogliamo aggiungere cariche, per esempio elettroni, a un solido, se si tratta di un solido macroscopico non ci costa molta energia, ma se riduciamo le dimensioni è tutto un altro paio di maniche.

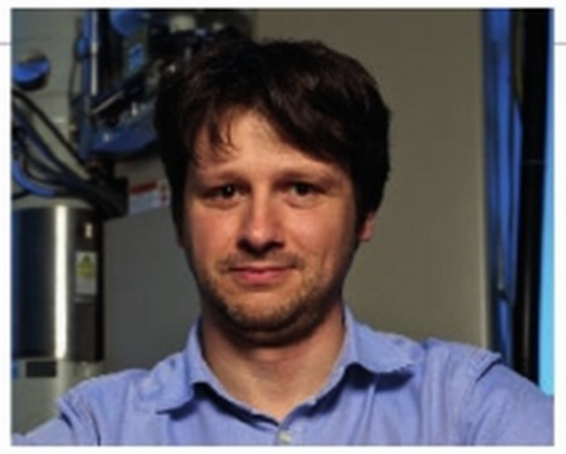
Queste cose le sappiamo da venti o trent'anni, ma quello che si è scoperto ultimamente, e il mio gruppo ha dato un importante contributo, è che questi solidi di dimensioni nanometriche si possono produrre in maniera molto controllata. Cioè, in un solo esperimento riusciamo a produrre miliardi di particelle di dimensioni e forme volute con cui produrre oggetti nuovi e costruire nuovi materiali.

Per esempio?

Dalle memorie per l'elettronica ai dispositivi elettronici più disparati. Oppure materiali per il fotovoltaico. Adesso stiamo studiando il modo di fare inchiostri, cioè soluzioni con queste particelle da depositare su un substrato. Quando il liquido evapora si forma un film, che poi è lo strato attivo per la cella solare. Sono processi molto più economici di quelli attuali, anche dal punto di vista ambientale: si usano materiali come rame, zinco, zolfo e stagno, e tecnologie povere che hanno una tossicità paragonabile a quella di una normale stampante per computer. Non siamo gli unici al mondo a proporre questa idea, ma lo stiamo facendo all'interno di un progetto europeo, lo Scalenano Project, in un consorzio interdisciplinare composto da 13 istituti di tutta Europa.



Cortesia Liberato Manna (*tutte le foto in questa pagina e nella pagina a fronte*)

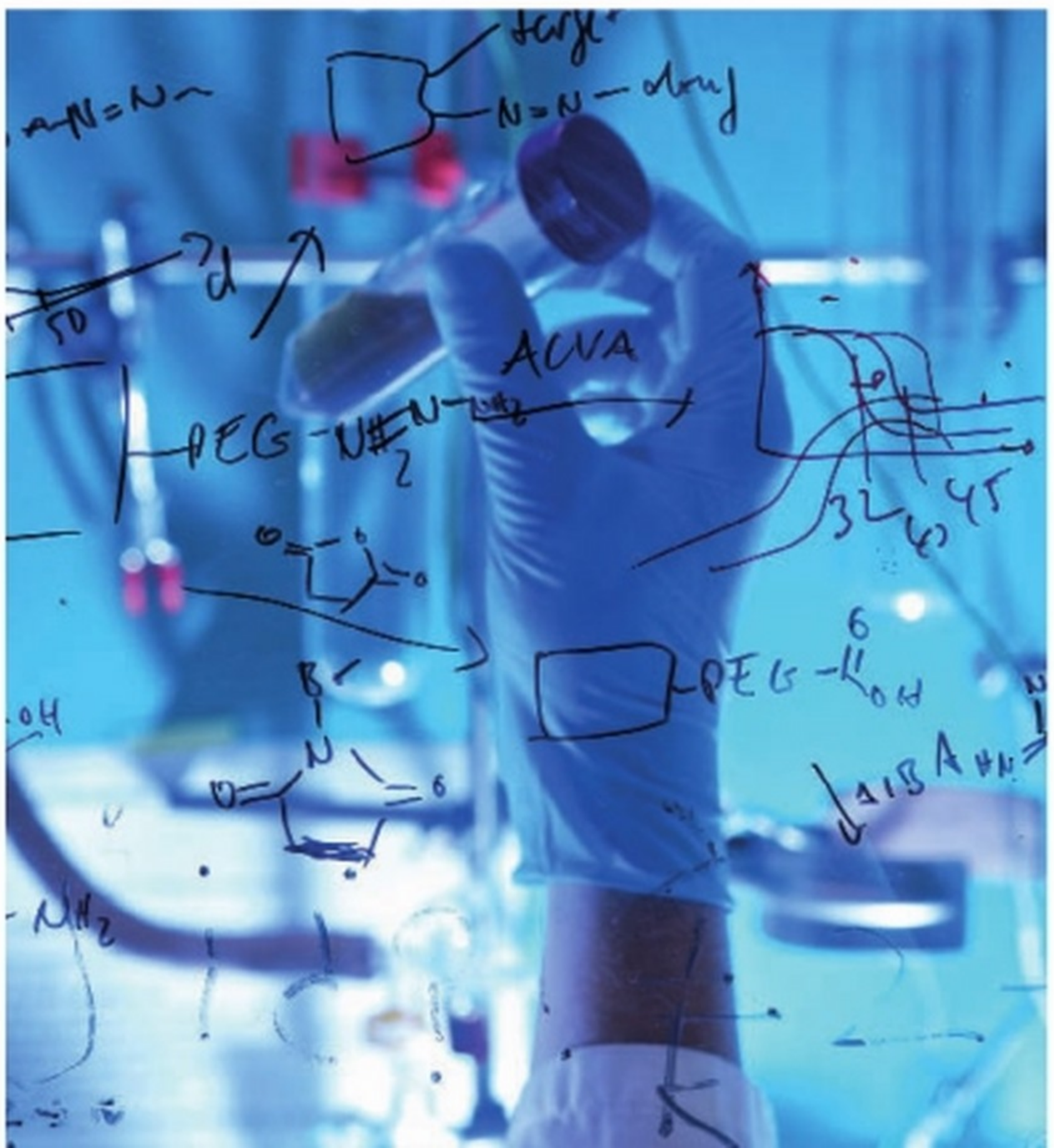


CHI È

Liberato Manna si è laureato e ha ottenuto il dottorato in chimica a Bari. Durante il dottorato e come post-doc ha lavorato all'Università della California a Berkeley.
Dirige il Dipartimento di nanochimica dell'IIT e dal 2010 è professore di quantum nanoscience al Kavli Institute of Nanoscience del Politecnico di Delft.
Ha al suo attivo quasi 200 pubblicazioni e un H-index di 45, ha scritto capitoli per 16 libri e ha 11 brevetti legati alle sue ricerche in nanotecnologie.
Ha ricevuto molti premi per la carriera e partecipa (e ha partecipato) a numerosi progetti europei, tra cui il progetto FET Flagship Graphene: di uno di questi è stato coordinatore.

Sempre nell'ambito delle energie pulite, le nostre ricerche possono avere applicazioni importanti nei processi di catalisi per la produzione di idrogeno, e quindi per permettere l'impiego dell'idrogeno come vettore energetico, perché possiamo sviluppare particelle dimeriche composte da un metallo nobile, o una lega di metalli nobili (oro e palladio), e ossidi (per esempio l'ossido di ferro). Queste particelle si possono far reagire con l'ossigeno per abbattere il monossido di carbonio che si trova miscelato con l'idrogeno, ma è un'impurità, e va eliminata prima che l'idrogeno venga utilizzato nelle celle a combustibile.

Ambiente internazionale. Il laboratorio di nanochimica diretto da Liberato Manna all'Istituto italiano di tecnologia e alcuni dettagli delle attività sperimentali (*sotto in questa pagina e a fronte*), a cui partecipano ricercatori di molte nazionalità differenti.



E al di fuori dell'ambito energetico?

Beh, stiamo dando un contributo anche alla ricerca biomedica perché possiamo produrre particelle magnetiche di dimensioni e forme controllate, per esempio l'ossido di ferro, quello della ruggine) che se irradiate con una particolare radiofrequenza riscaldano l'ambiente circostante. Si chiama ipertermia, e l'idea è che possa essere utile nella terapia dei tumori: inglobate in matrici particolari, si fa in modo che queste particelle si localizzino in un tessuto specifico e poi, attivate da un campo magnetico esterno, riescano a bruciare le cellule neoplastiche.

Ma la sua è una ricerca soprattutto di base.

Sì, in realtà mi occupo soprattutto dei meccanismi di crescita e autoassemblaggio delle nanoparticelle. Che poi non è un completo autoassemblaggio, nel senso di autonomia del sistema, come suggerirebbe la parola, perché si devono stabilire le condizioni ambientali precise affinché questo avvenga. È questa la cosa su cui ci divertiamo di più. Però non si può fare solo ricerca di base e comunque anche vedere le applicazioni che emergono dallo studio è affascinante perché si ha la percezione di dare davvero contributi importanti alla risoluzione di molti problemi.

Nel suo gruppo lavorano scienziati di molte nazionalità diverse, una cosa quasi straordinaria in Italia.

Forse in Italia sì, ma non lo è nel resto del mondo e non lo deve essere. La scienza è un'impresa globale, e quando metti in piedi un gruppo di ricerca ti comporti come se dovessi fare una selezione per un film, o formare una squadra di calcio: cerchi di prendere i migliori in tutto il mondo e di vincere la competizione con università prestigiose di tutto il mondo. Per fortuna possiamo dare buoni stipendi, e poi l'istituto è all'avanguardia come competenze e strumentazioni, siamo ben organizzati e c'è davvero un ambiente internazionale.

E lei perché dagli Stati Uniti ha deciso, dieci anni fa, di rientrare in Italia?

Ero a Berkeley, dove sono stato quattro anni, poi mi hanno prospettato la possibilità di avere un mio gruppo di ricerca in Italia, al Laboratorio di nanotecnologie del CNR, o meglio all'allora Istituto nazionale di fisica dei materiali, sotto la guida di Roberto Cingolani che ora dirige l'IIT. Nel 2008 sono passato all'IIT: è stato un periodo particolare, perché tra il 2007 e il 2008 ho avuto molte offerte dall'estero. Ma ho scelto di restare: nel frattempo ho vinto un *grant* del Consiglio europeo della ricerca, e anche grazie a quello ho proseguito nelle mie ricerche. Adesso mi voglio dedicare a capire come reagiscono i materiali in condizioni di stress molto elevato (termico o di irraggiamento) e come le loro proprietà si modifichino nel tempo.

di Letizia Gabaglio

Idrogeno sotto pressione

H2Nitidor è specializzata nella produzione di idrogeno a pressioni elevate, più efficiente di quella a basse pressioni, e ha sviluppato una cella da usare nello spazio

Prima o poi la rivoluzione dell'idrogeno arriverà. Definita la terza rivoluzione industriale, dopo quella del carbone e del petrolio, l'era in cui l'idrogeno sarà usato per trasportare e immagazzinare l'energia che usiamo tutti i giorni, in auto, a casa, in ufficio, in realtà appare ancora lontana. Ma la strada è segnata, e quando l'ora scoccherà, a Codogno, in provincia di Lodi, saranno pronti a coglierne le opportunità. È qui che ha sede H2Nitidor, che lavora allo sviluppo di sistemi di elettrolizzazione dell'idrogeno per industria automobilistica, aviazione ed energie rinnovabili. «L'idrogeno è stato un'intuizione nata alla fine degli anni novanta», racconta Mario Dragoni, direttore tecnico dell'azienda. «Lavoravo in un'azienda che produceva impianti per l'analisi di fumi, e l'idrogeno era solo una parte secondaria del *business*. Ma per me era la chiave per il futuro. Così ci siamo separati, ed è nata H2Nitidor». Da allora gli ingegneri assunti da Dragoni hanno lavorato con università italiane e straniere, enti di ricerca e grandi aziende, alla realizzazione di applicazioni industriali d'avanguardia.

Dalle dighe all'esplorazione spaziale

L'idea è ottenere un sistema che produce idrogeno con l'elettrolisi dell'acqua e quindi usare la molecola per trasportare energia, soprattutto quella che non è costante, come l'energia da fonti rinnovabili. «Il primo passo è stato lavorare con persone che già avevano esperienza. Abbiamo scelto di acquisire i diritti di sfruttamento di alcuni brevetti di un'azienda svizzera, Casale Chemicals, che produceva sistemi di questo tipo. Volevamo entrare nel mercato a un certo livello di qualità», prosegue Dragoni. Sulla base di queste licenze, H2Nitidor mette a punto macchine che producono idrogeno sotto pressione, fino a 30 bar (29,6 atmosfere): un vantaggio rispetto ai concorrenti che producono idrogeno a pressione atmosferica e poi devono ricorrere alla compressione. «Il nostro sistema è più efficiente perché permette di eliminare parte del lavoro di compressione o di usare compressori più piccoli».

Ricerca e sviluppo dell'azienda sono nelle mani di abili ingegneri, aeronautici, meccanici, dell'energia, a coprire tutti i possibili settori di applicazione dei sistemi a idrogeno. «Grazie alla collaborazione con diversi atenei abbiamo messo a punto soluzioni per integrare i sistemi e proporre ai clienti soluzioni *ad hoc*. Come quella elaborata per la Fondazione Parco Tecnologico Itaipu in Brasile: un elettrolizzatore da 10 metri cubi normali per ora (il metri cubi normale misura la quantità di gas contenuta in un metro cubo a pressione atmosferica e alla temperatura di 0 gradi Celsius), un sistema di compressione da 350 bar e serbatoi a comporre un impianto di produzione, compressione e stoccaggio di idrogeno alimentato dalla centrale idroelettrica di Itaipu, la più grande al mondo. La possibilità di immagazzinare l'idrogeno e poi usarlo in celle a combustibile permetterà di sfruttare in pieno le potenzialità della

LA SCHEDA

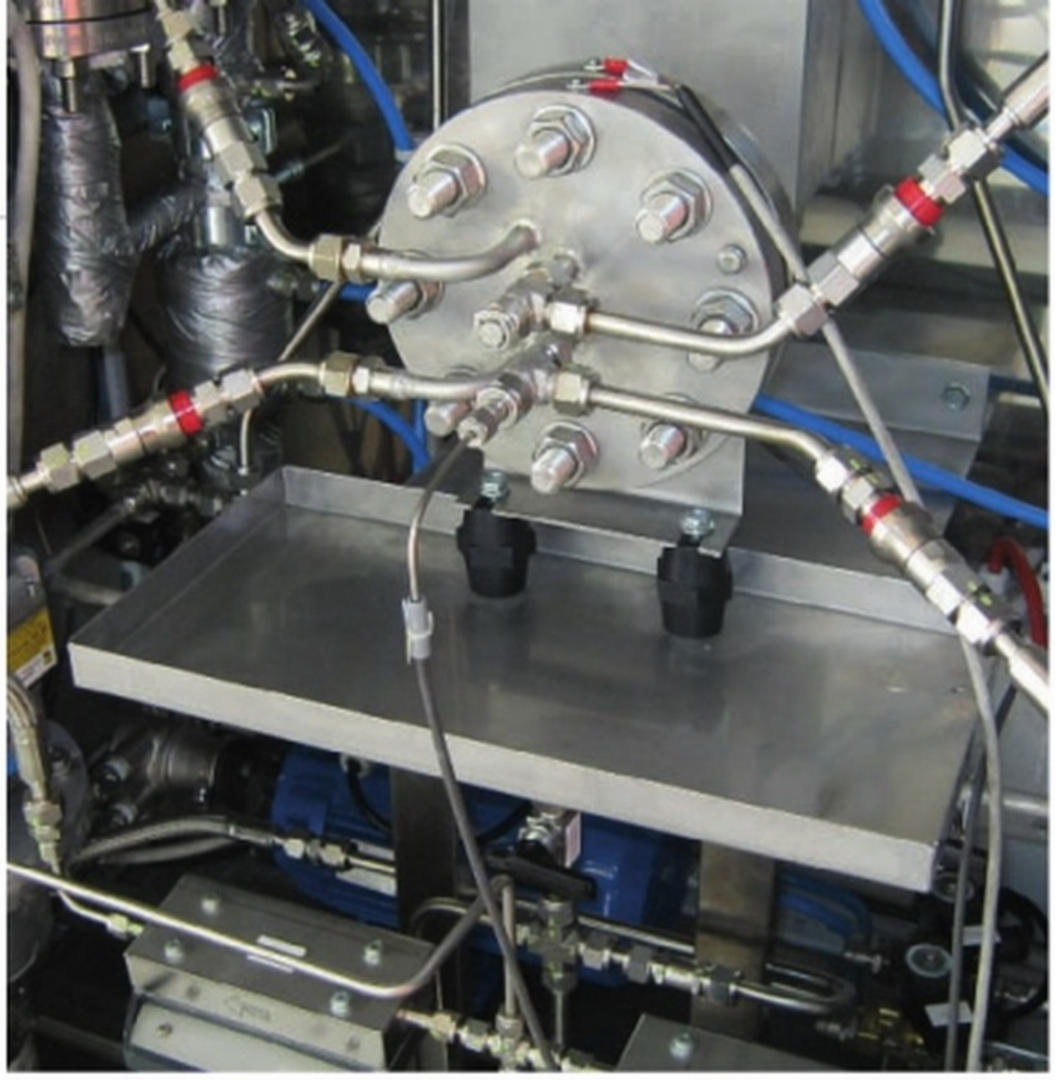
H2Nitidor

Fatturato
Non disponibile

Investimenti in ricerca
30 per cento del fatturato

Dipendenti/collaboratori
12, più soci lavoratori, di cui quattro impiegati in R&S

Brevetti rilasciati
Licenziatari di brevetti di altra azienda



Cortesia H2Nitidor (*in alto, 2*); Bernd Weissbrod/dpa/Corbis (*sotto*)

Sulla strada. Componente di cella elettrolitica (*sopra*) di H2Nitidor installata in generatori (*accanto*) dell'azienda per ottenere idrogeno. Alcuni paesi hanno già distributori di questo gas per auto (*sotto*).

centrale, per tutto l'anno, senza dover dipendere dalla variabilità stagionale dei volumi idrici. Garantendo quindi un servizio costante e meno caro. Il primo obiettivo è rifornire di idrogeno gli autoveicoli nei dintorni di Itaipu, ma in previsione delle Olimpiadi del 2016 il Governo brasiliano vuole mettere in azione diversi mezzi di trasporto pubblico a impatto zero e l'impianto *made in Italy* rappresenta un laboratorio di studio a cielo aperto.

Anche in Francia hanno usato il *know-how* H2Nitidor per muovere i primi passi verso il trasporto senza emissioni. In particolare, il progetto europeo MobyPost, a cui l'azienda italiana partecipa all'interno di un consorzio composto da nove partner di quattro paesi europei diversi, sta lavorando alla realizzazione di un sistema di distribuzione della posta con mezzi alimentati con energia solare stoccata e distribuita grazie alla tecnologia delle celle a idrogeno. E in Italia, quando saremo pronti a viaggiare su auto alimentate a idrogeno? Le case automobilistiche stanno nuovamente investendo in questa direzione, ma mentre nei paesi scandinavi e in Germania ci sono progetti per tappezzare di distributori le autostrade, da noi per ora è prevista l'apertura di un solo punto di rifornimento sulla A22, nei pressi di Bolzano.

Dal Brasile alle stelle: H2Nitidor ha sviluppato un nuovo tipo di cella reversibile per stoccaggio e rilascio di energia destinata allo spazio. L'azienda è una delle poche piccole e medie imprese selezionate per la seconda fase del programma STEPS (Sistemi e tecnologie per l'esplorazione spaziale) promosso da Regione Piemonte e Thales Alenia Space. «La sfida – specifica Dragoni – è costruire celle che dovranno lavorare in condizioni di microgravità e che nella fase di lancio sperimenteranno grandi forze. Ma siamo sicuri che i risultati ci consentiranno di sviluppare un prodotto nuovo del settore: la cella reversibile H2-FC».

Un altro campo di impiego è quello delle telecomunicazioni. Per dimostrare che le celle a idrogeno sono pronte per essere applicate a livello industriale in questo campo, H2Nitidor partecipa al progetto FCpoweredRBS, promosso da Ericsson e cofinanziato dalla Commissione Europea. Al momento i test coinvolgono quattro stazioni radio vicino Roma: «H2Nitidor metterà a disposizione il modulo Ups, composto da un elettrolizzatore ad alta efficienza, 30 bar, senza compressore, con possibilità di connessione a pannelli fotovoltaici, integrato in un unico *cabinet* con un serbatoio di stoccaggio e due celle a combustibile», spiega Dragoni. «I test lo evidenzieranno: anche in questo campo la scelta dell'idrogeno è vincente, perché efficiente, meno costosa e a basso impatto ambientale».

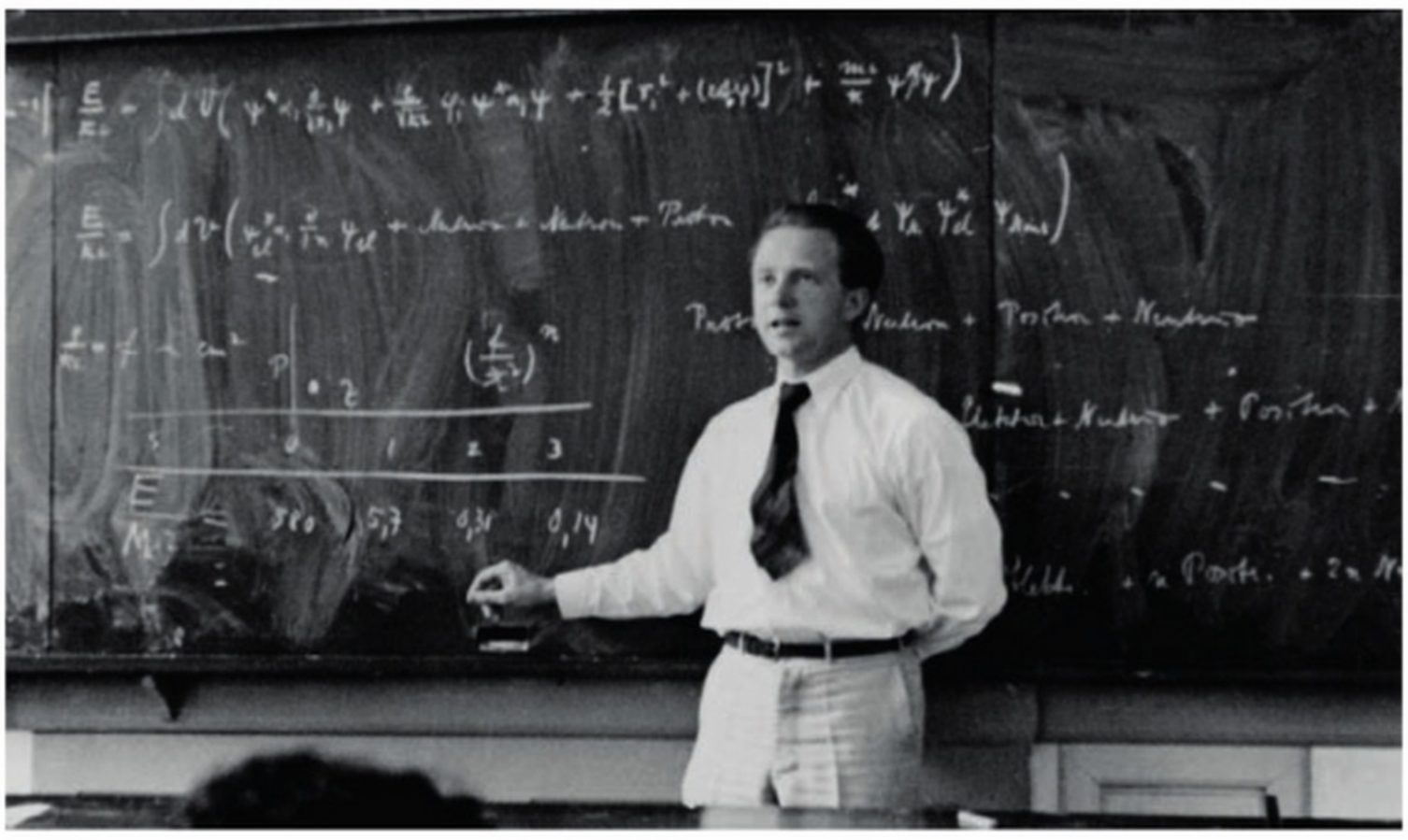
di Elena Castellani
professore associato, Dipartimento di filosofia,
Università di Firenze

I molti modi di dirla

L'importanza delle varietà di formulazione delle teorie scientifiche

Che si possano avere diverse formulazioni di una stessa teoria è un fatto. La storia della fisica ci offre molti esempi: basti pensare ai formalismi lagrangiano o hamiltoniano per la meccanica classica, alle formulazioni di Erwin Schrödinger e Werner Heisenberg per la meccanica quantistica, o alle diverse versioni dell'elettrodinamica. Riflettendo su questo fatto Richard Feynman, nel ripercorrere nella *Nobel Lecture* del 1965 i passi che l'avevano portato alla sua formulazione dell'elettrodinamica quantistica, osservava: «Mi è sempre parso strano che le leggi fondamentali della fisica, quando vengono scoperte, possano apparire in tante forme diverse che non sembrano inizialmente le stesse, ma che poi, con un po' di manipolazione matematica, se ne possa mostrare la relazione. [...] C'è sempre un altro modo di dire la stessa cosa che non assomiglia affatto al modo in cui è stata detta prima».

La domanda è se ci sia una ragione non banale per cui una stessa teoria possa essere formulata in modi diversi o, in altri termini, se questa versatilità di descrizione corrisponda a una particolare caratteristica della teoria. Per Feynman, perché siano possibili più formulazioni «rimane un mistero». Ma questa possibilità, allo stesso tempo, è da lui vista come «una rappresentazione della semplicità della natura»: l'idea è che «una cosa è semplice se ne possiamo dare una descrizione completa in vari modi senza essere immediatamente consapevoli che si sta descrivendo la stessa cosa».



La versione di Werner. Il tedesco Werner Heisenberg, autore di una formulazione della meccanica quantistica per cui nel 1932 ottenne il Nobel per la fisica, a lezione nel 1936.

Sul significato e la validità della semplicità come virtù teorica si discute molto nell'ambito della filosofia della scienza e la riflessione di Feynman è sicuramente un interessante contributo. Ma c'è anche un altro aspetto degno di essere sottolineato riguardo alla molteplicità descrittiva nella scienza. Quanto è importante, per una teoria scientifica, il modo in cui è formulata? Quanto, in altre parole, questo modo influisce anche su quello che, con quella teoria, si vuole dire sull'ambito fisico considerato? Inoltre, al di là delle presunte virtù legate al fatto che la teoria sia formulabile in più modi, queste formulazioni dicono davvero la stessa cosa, o dicono anche, l'una, qualcosa che l'altra non dice? E, infine, quanto il successo di una teoria può dipendere dalla formulazione scelta?

Il rapporto tra ciò che si vuole esprimere e il modo in cui lo si esprime è un tema classico e generale, ma nel caso delle teorie scientifiche assume rilevanza e connotati specifici. Da una parte c'è il collegamento naturale con la questione posta dall'esigenza di raggiungere la massima chiarezza e assenza di ambiguità nell'esposizione delle teorie: un'esigenza che, in particolare con i positivisti logici, si è spesso sposata con quella dell'unicità descrittiva o completa intertraducibilità delle diverse descrizioni.

Dall'altra parte c'è il fatto storico delle molteplici formulazioni teoriche, che a volte sono solo parzialmente intertraducibili o addirittura alternative. È quanto avviene, per esempio, nel caso delle descrizioni dell'elettrodinamica classica ottenute, rispettivamente, nei termini di campi o dell'azione a distanza tra cariche. Una molteplicità di formulazioni che, come rivela bene la storia della fisica, è sia indice della ricchezza del campo d'indagine sia componente essenziale del progresso scientifico. Poiché, citando ancora Feynman, descrizioni diverse «suggeriscono diversi tipi di modifiche e quindi non sono equivalenti nelle ipotesi che uno genera da esse nel tentativo di comprendere ciò che ancora non è compreso».

La ricchezza di approcci e formulazioni è quindi preziosa, e la lezione da trarre è di perseguirla il più possibile: in particolare, come già ci indicava Feynman in base alla sua personale esperienza, il seguire una sola via – quella più di moda, che porta a maggiori citazioni e quindi a più elevati indici bibliometrici, si direbbe oggi – può sembrare di maggior successo lì per lì, ma poi, se l'approccio vincente si trova in un'altra direzione che rimane inesplorata perché minoritaria, chi mai lo troverà?

American Institute Of Physics/SPL/Contrasto

di Edoardo Boncinelli
Università Vita-Salute San Raffaele, Milano

Peso, mortalità e statistica

Uno studio mostra che un po' di grasso allunga la vita, ma non tutti sono d'accordo

Di recente è stato pubblicato su «Nature» (Hughes V., Vol. 497, pp. 428-430) un articolo di rassegna sulla mortalità degli individui in rapporto al loro peso corporeo. I dati sono ancora in parte controversi, e si prestano bene a illustrare come procede la scienza, soprattutto in uno dei suoi campi più «scivolosi», la statistica, specialmente se applicata agli esseri umani, e a come spesso le sue conclusioni entrino in conflitto con alcune istanze presenti nella popolazione mondiale.

Lo standard del peso è da qualche anno affidato al cosiddetto indice di massa corporea (BMI, per *body-mass index*). Questo indice si calcola dividendo il peso in chilogrammi di una persona per il quadrato della sua statura in metri. Per esempio una persona alta un metro e settanta e pesante 80 chilogrammi ha un BMI di 27,7, mentre se questa stessa persona pesa 70 chilogrammi avrà un BMI di 24,2 e se pesa 60 chilogrammi avrà un BMI di 20,7. Secondo gli standard internazionali un adulto con un BMI al di sotto di 18,4 è considerato sottopeso, uno con un BMI compreso tra 18,5 e 24,9 è considerato di peso normale, con un BMI compreso tra 25 e 29,9 è considerato sovrappeso e chi supera il valore di 30 è considerato decisamente obeso.

Pancia vitale? A un certa età le persone un po' in sovrappeso avrebbero un rischio di morte minore rispetto alle persone di peso normale.

Tim Tadder/Corbis

Nei primi anni ottanta, Reubin Andres notò che, contrariamente alle attese, la curva della mortalità rispetto alle classi di peso ha una forma a U, e il suo minimo dipende dall'età. Per le persone che hanno cinquant'anni o più la mortalità è più bassa per chi è un po' sovrappeso rispetto a chi ha un peso considerato normale. Questo contrastava così nettamente con l'idea che i chilogrammi in più si pagano che la cosa venne ridicolizzata e dimenticata. Gli avversari fecero notare che chi fuma e chi ha una malattia cronica tende a essere più magro, e ciò poteva spiegare in parte l'osservazione.

La cosa è stata ripresa più di recente da un gruppo guidato da Katherine Flegal. I loro dati, ottenuti su quasi tre milioni di persone, suggeriscono di nuovo che da una certa in poi età essere un po' sovrappeso comporta un rischio di morte minore che essere di peso normale: di nuovo la curva della mortalità in rapporto all'età ha un andamento a U, almeno sopra i 50-60 anni, e il minimo si osserva per chi è leggermente sovrappeso. La spiegazione potrebbe essere che chi è (leggermente) sovrappeso ha più energie e risorse per combattere, per esempio, le infezioni. Per gli obesi invece non ci sono attenuanti: per loro la curva della mortalità è uniformemente crescente.

Siamo di nuovo di fronte a un paradosso, il paradosso dell'obesità. Questi dati sono stati aspramente criticati, e un altro studioso di statistica umana, Walter Willett, è arrivato a definire questo studio «una montagna di stupidaggini». Quello che c'è dietro tanta acrimonia è chiaro. Proprio ora che si sta cominciando a sensibilizzare la popolazione, soprattutto negli Stati Uniti, sui rischi del sovrappeso, specialmente nei giovani, una notizia del genere, ovviamente sbandierata dai mezzi di comunicazione, potrebbe avere un effetto molto negativo.

Senza contare che la pubblicizzazione di queste controversie non fa che rafforzare la convinzione che gli scienziati siano in continuo dissidio e che la scienza cambi troppo spesso idea su questo o su quell'argomento. Si tratta di argomenti sacrosanti, ma la verità è verità, ed è l'unica cosa che conti per la scienza. Gli antichi dicevano non a caso *Amicus Plato, sed magis amica veritas.*

Il dibattito infuria, e non possiamo entrare nei dettagli. Basti dire che, a parte banali errori di calcolo, rari a questi livelli, tutto si gioca su quali persone includere nello studio e quali escludere. Come escludere per esempio che qualcuno un po' sottopeso abbia già un diabete latente o un tumore occulto? Il dibattito tecnico deve considerare tutte le possibili malattie o predisposizioni, ma non è sempre facile. Senza contare il contesto sociale: i non fumatori tendono per esempio a essere più ricchi e istruiti dei fumatori.

Sarà interessante seguire come finirà questo dibattito, anche se non c'è dubbio che il grasso in eccesso è pericoloso per la salute e va evitato, soprattutto se è localizzato in posizione addominale.

di Piergiorgio Odifreddi
professore ordinario di logica matematica all'Università di Torino
e visiting professor alla Cornell University di Ithaca (New York)

La scienza di Lucrezio

La sua opera *De rerum natura* anticipa molti aspetti della scienza moderna

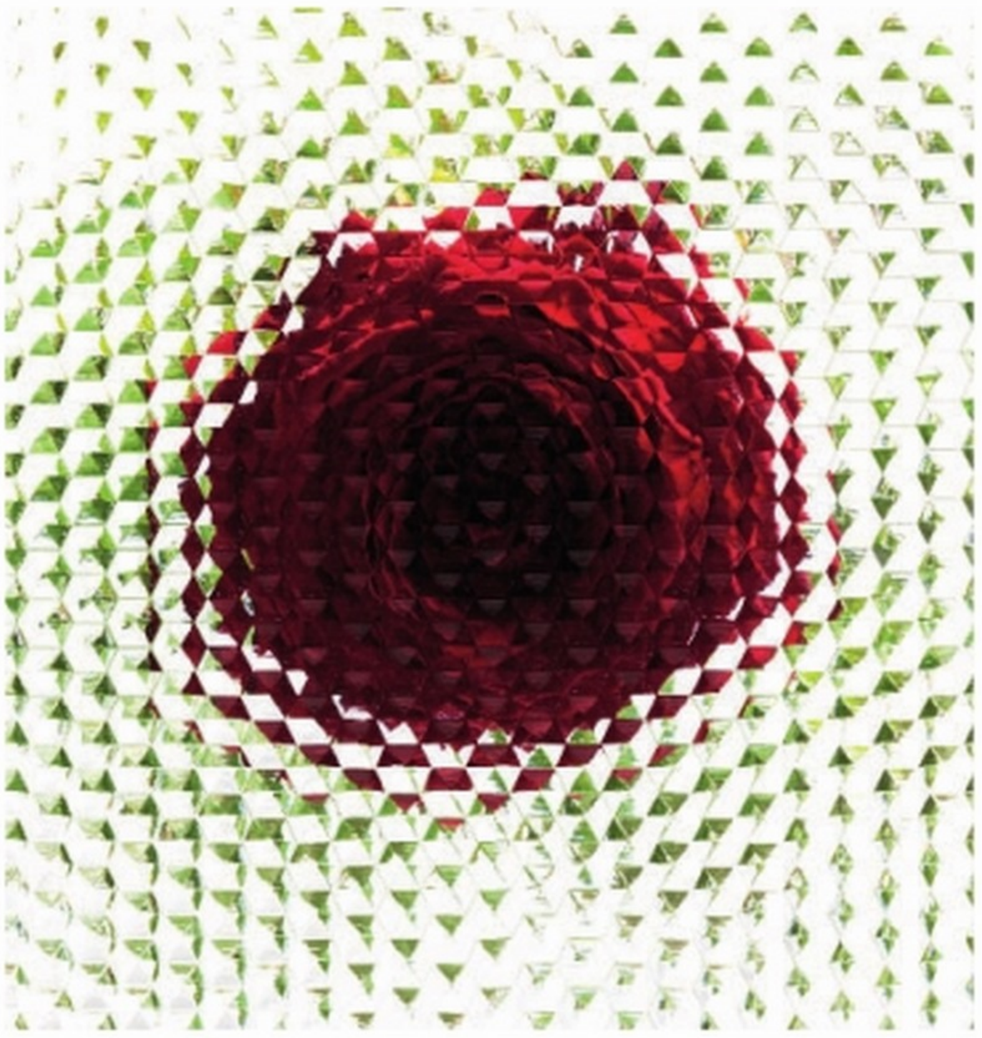
Il *De rerum natura* di Lucrezio è considerato un capolavoro della letteratura latina, ma pochi sembrano sapere che è anche un capolavoro della divulgazione scientifica. I suoi esametri dattilici nascondono infatti, dietro la forma poetica, un contenuto anticipatorio di tutta una serie di aspetti della scienza moderna, che proviamo qui a riassumere. Innanzitutto, i versi I,54-61 costituiscono l'a*bstract* dell'intero poema, e si possono sintetizzare in un'unica parola d'ordine: «riduzionismo».

Lucrezio intende ridurre il funzionamento dell'intero macrocosmo, uomo compreso, al comportamento microscopico dei cosiddetti *stoicheia*: una parola greca che significa «messi in fila», o «in serie», e indica gli «elementi ultimi» della materia. Sentiamoli dalla sua viva voce: «È per te che esporrò il supremo sistema celeste. Per te spiegherò i princìpi della Natura che regolano la nascita, la crescita, il sostentamento, la morte e la dissoluzione di tutte le cose. Per te parlerò di "materia generatrice", di "semi delle cose", di "corpi primordiali": in breve, degli "atomi" da cui tutto ha origine».

Poiché la serialità suggerisce l'enumerazione, uno degli obiettivi del riduzionismo è la classificazione di questi «elementi ultimi». Un altro, complementare, è la descrizione di come essi si combinino per dar luogo a tutte le cose. Entrambi gli obiettivi sono condivisi da Lucrezio e dalle scienze moderne, sebbene ciascuna di queste si limiti a ridurre un particolare livello di realtà a un altro più elementare. A seconda dei casi, dunque, gli «elementi ultimi» di Lucrezio potranno essere interpretati come le macromolecole della biologia, le molecole della chimica, gli atomi della fisica atomica e nucleare o le particelle della fisica subatomica.

In più punti del suo poema Lucrezio introduce un parallelo tra atomismo fisico e linguistico. Ai suoi tempi, infatti, l'esempio più convincente di atomismo non veniva dalla natura, ma dalla scrittura: prima la geroglifica, poi l'alfabetica. Già nel *Teeteto* Platone aveva riconosciuto che erano state proprio le lettere e le parole a costituire un'ispirazione per gli elementi e gli insiemi, che stanno alla base della sua «teoria delle idee». E i suoi due procedimenti di sintesi e di analisi corrispondevano alla composizione delle lettere in parole, e alla decomposizione delle parole in lettere.

Anche Lucrezio indica nelle lettere e nelle parole un'ispirazione per gli atomi e i composti, che stanno alla base della teoria di Epicuro a cui egli si ispirava. Ma perché le intuizioni filosofiche diventassero teorie scientifiche si sarebbe dovuto attendere un millennio e mezzo: l'atomismo farà capolino nella scienza solo nel 1661, con *Il chimico scettico* di Robert Boyle, e la conquisterà nel 1808, con *Un nuovo sistema di filosofia chimica* di John Dalton.



Come una rosa. Per Lucrezio il macrocosmo è composto da microscopici elementi ultimi della materia.

Ma non sono solo le generalità a essere moderne in Lucrezio. Lo è anche una lunga lista di specificità, che costituiscono vere e proprie anticipazioni di alcuni momenti salienti dello sviluppo della scienza: lo spazio infinito e i mondi innumerevoli di Giordano Bruno, il principio d'inerzia di Cartesio, l'esperimento sul vuoto di Torricelli, la legge di conservazione della massa di Lavoisier, l'epidemiologia di Borelli, l'evoluzionismo di Darwin e la teoria cinetica dei gas di Maxwell, tanto per citarne qualcuna. E fu lo stesso Maxwell a scrivere, in una lettera del 1866: «Le sue parole sono una così buona illustrazione della teoria moderna, che sarebbe un peccato che significassero qualcosa di diverso».

Per mostrare un esempio sorprendente leggiamo ancora i versi II,125-131: «È bene prestare attenzione ai corpuscoli che vedi agitarsi nei raggi del Sole: perché quel turbinio ti suggerisce che ci sono più cose al mondo, di quante ne appaiano a prima vista ai nostri sensi. Lì vedrai, infatti, un moto casuale di particelle che vanno da tutte le parti, ora qua e ora là, e questo moto visibile deve essere prodotto dagli urti degli atomi invisibili».

Sebbene scorretta per il moto del pulviscolo atmosferico, che non fluttua nell'aria ferma, ma è trascinato dalle correnti, la spiegazione di Lucrezio risolve correttamente l'enigma del moto browniano scoperto nel 1827, e risolto in maniera «lucreziana» da Albert Einstein nel 1905: il moto visibile delle particelle macroscopiche è infatti causato dal moto invisibile delle molecole del fluido che le urtano, a conferma della profondità delle intuizioni scientifiche che si trovano nel poema di Lucrezio.

Halfdark/Istock/Corbis

di Roberto Battiston
Professore ordinario di fisica sperimentale all'Università di Trento
www.robertobattiston.it

Il rumore di un'impronta

Osservato nell'eco del big bang un segnale di polarizzazione da tempo previsto

Difficile passare inosservati in questo universo così apparentemente vuoto. Spazio, tempo, energia e materia si influenzano a vicenda, sia pure su scale a prima vista totalmente incommensurabili con quella umana. Prendiamo la radiazione di fondo a microonde, letteralmente l'eco del big bang e di tutto ciò che ne è seguito. Trovata per caso nel 1964 da Arno Penzias e Robert Wilson, da allora non smette di stupire per la quantità di informazioni che riesce a fornire sulla struttura e l'evoluzione dell' universo. I satelliti come Planck, misurando con precisione la struttura spaziale e spettrale delle microonde del rumore cosmico, determinano con precisione le frazioni di materia normale, materia oscura ed energia oscura che compongono il nostro universo. È come se guardando i rifiuti rimasti alla fine di un giorno di mercato volessimo risalire a quante e quali merci sono state vendute.

Lo spettro delle microonde riempie tutti gli angoli del cosmo, tenue ma implacabile. Solo che questi fotoni hanno viaggiato per 13,7 miliardi di anni prima di raggiungerci, percorrendo un universo in continua espansione e quindi in continuo raffreddamento, al punto che ora corrispondono all'emissione di un corpo di soli 2,7 gradi sopra lo zero assoluto: microonde, appunto. È una luce fredda, formata da onde radio che contribuiscono in modo significativo al rumore di fondo delle antenne televisive. Da quando è stata prodotta nel grande flash iniziale e dall'immediata annichilazione di quasi tutta la materia con la corrispondente parte di antimateria, questa radiazione ha attraversato tutto l'universo prima di arrivare a noi, plasmandosi attorno agli oggetti che incontrava e ricevendone impronte più o meno inconfondibili.

Planck ha misurato differenze di temperature del cielo intorno ai 20 milionesimi di kelvin su scale angolari minori o dell'ordine del grado. Le aree del cielo caratterizzate da minore temperatura e maggiore densità corrispondono all'esistenza di regioni dell'universo dove hanno iniziato a condensare le prime stelle e le prime galassie. Ma le caratteristiche della radiazione di fondo riguardano anche la sua polarizzazione, sia della componente elettrica sia di quella magnetica. In particolare, la componente magnetica dovrebbe avere una caratteristica polarizzazione circolare (modo B) dovuta all'interazione, nei primissimi istanti dell'universo, con l'intenso flusso di onde gravitazionali con cui la radiazione ha interagito durante la grande esplosione.

È di questi giorni l'annuncio della rivelazione di un debole ma chiaro segnale di questo tipo di polarizzazione intorno alle zone caratterizzate dalla presenza di masse molto grandi al punto da creare lenti gravitazionali. Attorno alle lenti gravitazionali è stato osservato per la prima volta un inconfondibile segnale di modo B, aprendo la strada ai futuri esperimenti che cercheranno di trovarne l'analogo dovuto all'interazione tra la radiazione e le onde gravitazionali che è avvenuta subito dopo il big bang.

Anche la polarizzazione di modo B legata alle lenti gravitazionali ci dà informazioni preziose, perché è influenzata dalla massa degli elusivi ma onnipresenti neutrini, con una sensibilità che rivaleggia con i più sensibili esperimenti effettuati con gli acceleratori di particelle. Nemmeno i neutrini, quindi, riescono a passare inosservati, e lasciano le loro impronte in questo mare di tenue luce fredda.

Jeff McMahon/Università di Chicago

La radiazione cosmica di fondo, attraversando l'universo per 13, 7 miliardi di anni prima di raggiungerci, è stata plasmata dagli oggetti incontrati, che vi hanno lasciato un'impronta caratteristica. Sopra, il South Pole Telescope, il radiotelescopio dove è stata rivelata la polarizzazione di modo B.

di Giorgio Manzi
Insegna paleoantropologia presso il Dipartimento di biologia ambientale dell'Università «La Sapienza» di Roma, dove dirige il Museo di antropologia «Giuseppe Sergi»

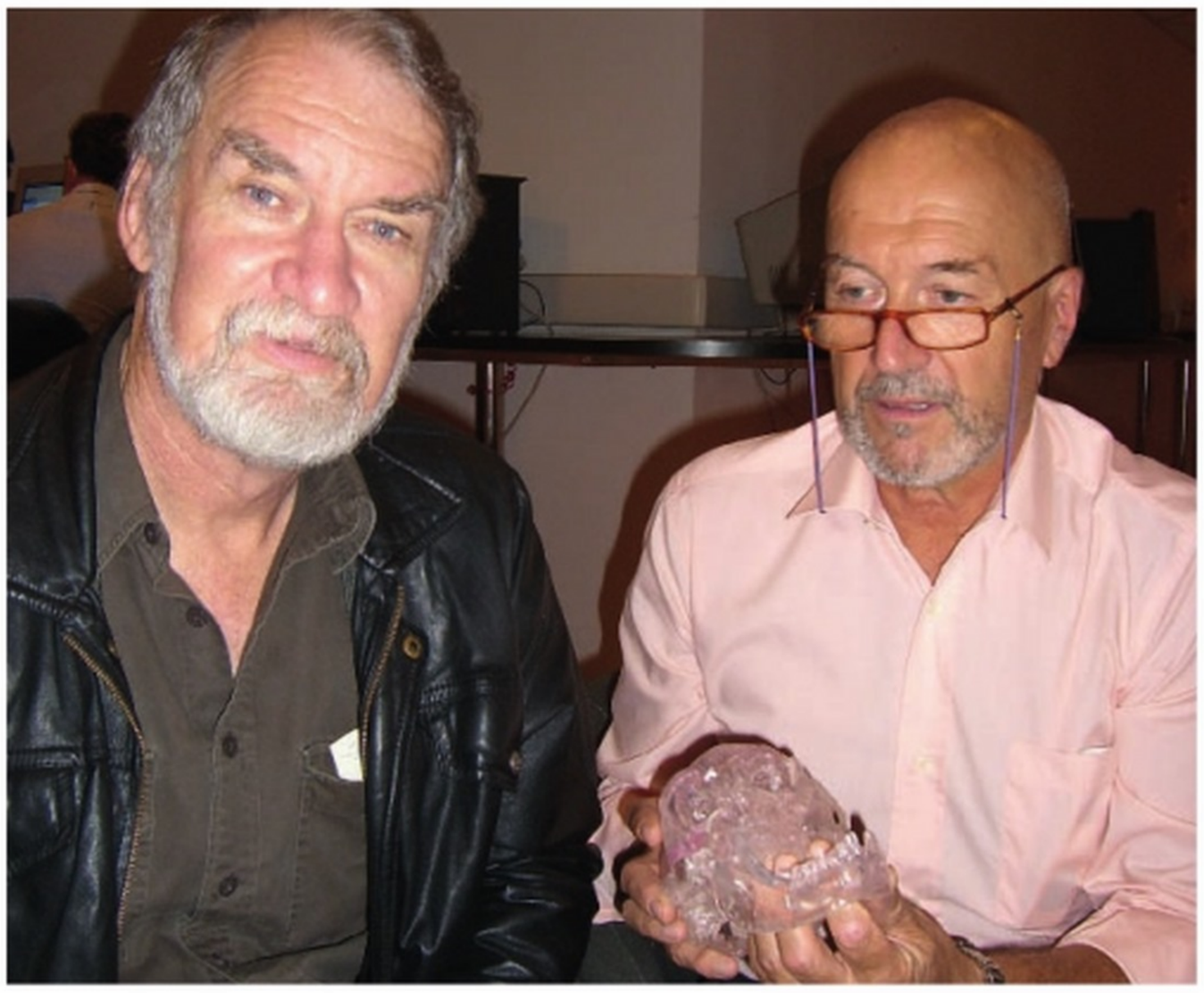
Addio all'uomo dell'hobbit

Ricordo di Mike Morwood, uno dei maggiori esperti di *Homo floresiensis*

Mike Morwood non c'è più; è scomparso prematuramente il 23 luglio scorso. Archeologo di origine neozelandese, era professore al Centre for Archaeological Science dell'Università di Wollongong, in Australia, oltre che presso l'Università del New England ad Armidale, sempre in Australia. È una strana (e triste) coincidenza che proprio quest'anno mi sia capitato di tenere almeno un paio di conferenze su uno degli argomenti a lui più cari – i cosiddetti *hobbit* dell'isola di Flores, in Indonesia – tanto che volevo parlarne di nuovo in questa rubrica (dopo averlo già fatto nel marzo 2012), e che proprio a luglio sia apparso in letteratura (su «PLoS One») un ennesimo articolo che sembra mettere definitivamente in chiaro la veridicità della specie umana estinta *Homo floresiensis*, da lui proposta insieme a Peter Brown e ad altri.

Claudio Tuniz, fisico italiano (e australiano, ci tiene lui stesso a precisare) prestato alla paleoantropologia, che di Morwood è stato collega a Wollongong, ricorda: «Dopo aver trascorso molti anni studiando l'origine e la cultura dei primi australiani, Mike andò alla ricerca delle loro tracce nelle vicine isole indonesiane, dove lo aspettava la sorpresa di un'inattesa e ancora in parte misteriosa nuova specie umana». *Homo floresiensis*, appunto, retaggio (aggiungo io, e penso che lo stesso farebbe Mike) di una delle prime diffusioni umane in Estremo Oriente; molto, molto prima dell'arrivo in quell'area della nostra specie, addirittura prima che da quelle parti si andasse affermando la specie umana arcaica *Homo erectus*.

La scoperta, le ricerche e le controversie senza fine oltre che, a dir poco, «aspre» su *Homo floresiensis* come specie umana estinta hanno affollato e in parte tormentato gli ultimi dieci anni di vita di Mike Morwood.



In Italia. Mike Morwood (*a sinistra*) e Claudio Tuniz con una stereolitografia di *Homo floresiensis* all'International Centre for Theoretical Physics di Trieste nel 2007.

Cortesia Claudio Tuniz

Come è noto, si ritiene che questa specie, caratterizzata da morfologia arcaica, bassa statura e un cervello molto piccolo, sia stata plasmata dagli effetti di un isolamento prolungato e da quel fenomeno bio-ecologico noto come «nanismo insulare», fino a estinguersi soltanto intorno a 17.000 anni fa. D'altra parte i tentativi di smentire l'ipotesi dell'esistenza di *Homo floresiensis* bollando il reperto più significativo (lo scheletro femminile LB1) come il rappresentante di una popolazione pigmea di *Homo sapiens*, colpito per di più da una qualche patologia che comporti ridotte dimensioni encefaliche (microcefalia), non sono compatibili con le analisi dettagliate del cranio, del calco encefalico, dei denti e di tutte le altre ossa dello scheletro.

La presenza di numerosi caratteri primitivi e la scoperta di altri reperti con caratteristiche simili suggeriscono invece che si tratti della prova di un primissimo popolamento dell'area, prolungatosi in condizioni di isolamento per un milione di anni e più, fino a coesistere con i primi *Homo sapiens*. Si può aggiungere che gli hobbit non erano come l'australopiteco, ma ciò nonostante conservavano molti tratti di un'anatomia ancestrale per il genere *Homo*. In altre parole, la scoperta di questa specie endemica ci dice molto sui fenomeni di dispersione di esseri umani primordiali che, nell'ambito di una prima espansione dall'Africa, arrivarono a colonizzare anche larga parte dell'Eurasia, inclusa la vasta penisola che raccoglieva quasi tutta l'attuale Indonesia, a un passo dall'isola di Flores.

Anche l'articolo pubblicato a luglio di quest'anno si muove nella medesima direzione, mostrando con tecniche di morfometria geometrica, applicate in chiave comparativa su un campione di crani fossili e recenti, che il cranio di LB1 è chiaramente distinguibile da quelli moderni sia normali sia patologici (microcefali), malgrado alcune affinità di questi ultimi con aspetti della morfologia arcaica del genere *Homo*. *Vale* Mike!

EVOLUZIONE

Le ragioni della guerra

Secondo un nuovo studio, la nostra specie non è naturalmente bellicosa

Remi Benali/Corbis

Un'analisi statistica delle aggressioni letali nelle società contemporanee di cacciatori-raccoglitori smentisce la diffusa ipotesi che la guerra sia un fattore fondamentale nell'evoluzione della specie umana.

Gli esseri umani, guerrafondai per natura. O forse no. L'ipotesi che la tendenza a combattere guerre sia connaturata alla nostra specie è stata avanzata da diversi studiosi del comportamento umano. «Saccheggi e faide continui caratterizzano la vita allo stato di natura», scrive Steven Pinker nel suo ultimo libro, *Better Angels of Our Nature*, descrivendo la violenza che ha contraddistinto gli esseri umani fin dalle prime forme di organizzazione sociale. La stessa propensione alla socialità e alla formazione di gruppi coesi potrebbe spiegarsi, secondo alcuni ricercatori, con il vantaggio che comporta questa struttura negli scontri violenti con le popolazioni vicine.

Il passato della nostra specie, però, potrebbe non essere stato così bellicoso. Lo suggerisce un nuovo studio pubblicato su «Science», portando una prova indiretta che sembra spostare l'origine della guerra a tempi più recenti dell'evoluzione dei gruppi sociali. Al centro della ricerca sono 21 moderne società nomadi di cacciatori-raccoglitori, studiate negli anni da diversi etnografi e antropologi. I dati delle osservazioni, raccolti in un ampio database chiamato *Standard Cross-Cultural Sample*, sono stati analizzati da Douglas Fry e Patrik Söderberg, che hanno cercato di identificare nel campione di società selezionate tutti gli eventi di aggressione con esito letale, raccogliendo 148 casi.

I due ricercatori dell'Åbo Akademi University, in Finlandia, hanno poi considerato le caratteristiche e le motivazioni delle uccisioni. Secondo gli autori, dall'analisi dei dettagli delle aggressioni è possibile distinguere gli scontri che mostrano caratteristiche simili alla guerra dagli atti di violenza legati a motivazioni personali. La maggior parte degli scontri, osservano i ricercatori, non sembra classificabile come atto di guerra. Soltanto un terzo delle uccisioni è avvenuto infatti tra membri di gruppi diversi, e la percentuale scende ancora fino al 15 per cento se si esclude la società dei Tiwi, in Australia, che mostra un numero di scontri particolarmente alto. Femminicidi, gelosie, reazioni a insulti: le aggressioni sembrano essere soprattutto omicidi legati a motivazioni personali o familiari più che eventi bellici, anche considerando il fatto che soltanto in sei delle società analizzate gli attacchi hanno coinvolto più di un aggressore e più di una vittima.

L'idea di continue lotte tribali per la risoluzione di conflitti su risorse e territori sembra essere lontana dall'immagine che emerge dalla ricerca dei due antropologi. Se le antiche società umane sono assimilabili alle attuali popolazioni di cacciatori-raccoglitori, l'ipotesi che la guerra sia una caratteristica inevitabile della natura umana potrebbe restare priva di fondamenti.

Valentina Daelli

FISICA

I limiti del neutrino di Majorana

Nuovi dati indicano che potrebbe essere uguale alla sua antiparticella

Il neutrino, definito la particella più vicina al nulla che esiste, potrebbe avere un'altra stranezza: essere uguale alla sua antiparticella, come ipotizzato da Ettore Majorana. La teoria non è mai stata dimostrata, ma gli ultimi dati dell'esperimento GERDA (GERmanium Detector Array, nella foto) dei Laboratori INFN del Gran Sasso sembrano avvalorarla. I fisici di GERDA hanno studiato una rara forma di decadimento, detto doppio beta, in cui due neutroni decadono simultaneamente in due protoni e due elettroni, ma senza liberare antineutrini. Proprio l'assenza di queste antiparticelle sarebbe la spia che neutrino e antineutrino sono in realtà la stessa particella.

Gli scienziati hanno misurato il fenomeno nell'isotopo 76 del germanio con una precisione senza precedenti, ponendo un limite pari a $2{,}1 \times 10^{25}$ anni – milioni di miliardi di volte l'età dell'universo – entro il quale il decadimento doppio beta senza neutrini è improbabile. Se i neutrini fossero particelle di Majorana, il fenomeno dovrebbe verificarsi con una frequenza ancora più bassa. Per raggiungere questo risultato, i cristalli di germanio sono stati sospesi in un serbatoio di argon liquido purissimo, a sua volta immerso in acqua ultrapura. Il tutto schermato dai 1400 metri di roccia del Gran Sasso.

Davide Patitucci

L'incerto confine tra quanti e realtà

Nel nostro immaginario, fenomeni come la coesistenza di stati che si escludono a vicenda sono relegati al mondo microscopico. Ma dove finisce la fisica dei quanti per lasciare spazio alla fisica classica? A quale ordine di grandezza avviene il passaggio? Il confine, sempre che esista, è stato spostato in avanti da un gruppo di ricercatori dell'Università di Calgary, che in un articolo su «Nature Physics» descrivono un sistema che, pur obbedendo alle leggi della fisica quantistica, si vede a occhio nudo.

L'esperimento è partito da due fotoni in stato di *entanglement*, quel legame reciproco a distanza in cui lo stato di una particella determina quello dell'altra anche se sono fisicamente molto lontane. Fin qui, siamo nell'ambito della fisica quantistica microscopica. A questo punto però una delle due particelle è stata amplificata, grazie all'interferenza di un raggio luminoso, fino a un ordine di 100 milioni di fotoni. Una procedura non banale, perché «un sistema quantistico grande è fragilissimo, e tende a disintegrarsi quando è soggetto a un'interazione con l'ambiente», spiega Alex Lvovsky, autore dello studio.

In questa nuova situazione si è potuto osservare che le fluttuazioni quantistiche del fotone singolo inducevano fluttuazioni anche nel sistema macroscopico. Infine, riconducendo il sistema macroscopico alle dimensioni di partenza, i ricercatori hanno verificato che l'entanglement tra le due particelle non era venuto meno. Un fenomeno squisitamente quantistico si era quindi conservato in un sistema di un ordine di grandezza molto maggiore di quanto non si fosse mai visto prima. Un passo avanti verso il gatto di Schrödinger: la sfida ora è migliorare ulteriormente l'esperimento. Magari trovando il modo di verificare l'entanglement senza bisogno di tornare al microscopico – suggerisce il fisico italiano Fabio Sciarrino, in un commento pubblicato sullo stesso numero di «Nature Physics» – oppure realizzandolo tra due sistemi macroscopici.

Roberta Fulci

Perché la Terra cambia velocità di rotazione

La durata del giorno non è sempre stata di 24 ore: 300 milioni di anni fa, la Terra ruotava più velocemente rispetto a oggi, e una giornata si esauriva in sole 21 ore. Uno studio pubblicato su «Nature» individua ora negli strati più profondi del pianeta una delle cause del cambiamento della velocità di rotazione terrestre.

Richard Holme, del Dipartimento di scienze naturali dell'Università di Liverpool, in collaborazione con l'Università Diderot di Parigi, ha analizzato le fluttuazioni della durata del giorno dal 1962 al 2012, con particolare attenzione per quelle che si verificano alla scala del decennio. Infatti, mentre le cause della variazione annuale della velocità di rotazione – come la circolazione atmosferica e quella oceanica – sono già note, sui meccanismi che agiscono su periodi più lunghi c'è ancora incertezza.

Il gruppo di ricerca ha rilevato un'oscillazione con periodo costante, che raggiunge il picco massimo circa ogni sei anni, e alcuni *jump*, variazioni che ricorrono in modo non regolare nel tempo. Gli scienziati hanno osservato che i salti improvvisi coincidono con le oscillazioni del campo magnetico terrestre, che dipendono dalle correnti elettriche che si generano nel nucleo.

«Lo studio – ha commentato Holde – fornisce preziose informazioni sulle dinamiche tra nucleo e mantello, e permetterà ridefinire la lora composizione chimica e mineralogica».

Viola Bachini

Cortesia INFN/Gerda Collaboration

ASTROFISICA

Una nuova classe di sorgenti radio

La loro esistenza è stata confermata dopo quattro anni di ricerche, ma la loro origine è ignota

Cortesia CSIRO/Parkes

Quattro brevi lampi radio provenienti dalle profondità del cosmo sono la conferma dell'esistenza di una nuova classe di radiosorgenti. Osservati tutti ad alte latitudini galattiche con il radiotelescopio da 64 metri di apertura di Parkes, in dotazione alla Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO), in Australia, i lampi, abbreviati in FRB (dall'inglese Fast Radio Burst, in assonanza con i più noti GRB, Gamma Ray Burst), hanno ciascuno una durata di pochi millesimi di secondo e – almeno per il momento – origine ignota.

A raccoglierli, dopo una caccia durata quattro anni, è stato un gruppo di astronomi, fra cui alcuni italiani, guidato da Dan Thornton, dell'Università di Manchester, che a luglio ne ha annunciato la scoperta su «Science». Il sospetto dell'esistenza di questi nuovi fenomeni era sorto già nel 2007, quando un unico lampo radio extragalattico venne osservato da un gruppo guidato da Duncan R. Lorimer, della West Virginia University, (da cui il nome «Lorimer Burst» attribuito a quell'evento). Adesso questi quattro nuovi eventi sono l'attesa conferma.

La certezza della loro provenienza extragalattica deriva dalla misura della loro dispersione causata dall'attraversamento del gas ionizzato intergalattico nel viaggio fino a noi (in pratica, le diverse componenti in lunghezza d'onda del lampo arrivano in momenti diversi: quanto maggiore è il ritardo fra queste, tanto maggiore la distanza percorsa). Le sorgenti che li hanno emessi si trovano tutte fra 6 e 10 miliardi di anni luce di distanza.

Thornton e colleghi ipotizzano che questi lampi radio siano eventi piuttosto frequenti nell'universo, almeno un FRB ogni dieci secondi, ovvero una frequenza oltre mille volte maggiore dei GRB, ma adesso si tratta di scoprire la loro origine. Gli astronomi pensano che siano associati a collisioni fra stelle compatte (stelle di neutroni e buchi neri). Un'ipotesi li vede anche legati alle esplosioni di stelle di neutroni fortemente magnetizzate (magnetar), capaci di liberare in un millisecondo l'energia consumata dal Sole in 300.000 anni, ma solo le prossime osservazioni sapranno chiudere la questione.

Emiliano Ricci

Le anomalie di Planck

La missione Planck ha prodotto la mappa più dettagliata della radiazione cosmica di fondo, fornendo un'istantanea molto nitida di come appariva il nostro universo 380.000 anni dopo il big bang. Ma se da un lato le osservazioni hanno confermato il quadro teorico del big bang associato all'inflazione (l'espansione esponenziale dell'universo verificatasi 10^{-36} secondi dopo la sua nascita), dall'altro hanno fatto sorgere dubbi, connessi all'osservazione di alcune anomalie in contrasto con le previsioni teoriche. Fra queste, per esempio, la conferma dell'esistenza di una macchia fredda (*cold spot*) estesa per circa 5 gradi, mentre le tipiche fluttuazioni di temperatura hanno scale angolari di circa un grado. Per fare il punto della situazione, la Kavli Foundation di Oxnard, in California, ha organizzato alla fine di luglio un dibattito pubblico al quale hanno partecipato alcuni ricercatori coinvolti nella missione Planck, fra cui George Efstathiou, direttore del Kavli Institute for Cosmology di Cambridge (nel Regno Unito). In generale, le anomalie riscontrate minano alla base l'idea di un universo isotropo a larga scala, ovvero con caratteristiche identiche in ogni direzione, costringendo i cosmologi a rivedere i modelli dell'inflazione, ponendo attenzione anche alla durata che avrebbe avuto l'enigmatico fenomeno. (EmRi)

AMBIENTE

Italia, un paese in chiaroscuro

Il nuovo rapporto dell'ISPRA sull'ambiente registra dati positivi ma anche tendenze negative

L'Annuario Ispra Ambiente 2013 è la più completa raccolta di dati su tutto quanto riguarda la situazione ambientale italiana. La sua undicesima edizione offre un quadro in chiaroscuro. Fra le luci, la più importante riguarda le emissioni di CO_2: la stima per il 2012, ultimo anno di verifica del Protocollo di Kyoto, è di 464,55 milioni di tonnellate di CO_2 equivalente, con un calo del 5 per cento rispetto al 2011 e molto al di sotto dei 483,26 milioni di tonnellate del target di Kyoto.

Il successo deriva però in buona parte dagli effetti dalla crisi economica: come il calo dei consumi di carburanti, meno 11,4 per cento sul 2011. Buona anche la notizia che siamo arrivati al 36 per cento di terreno boscoso, contro il 28,8 per cento del 1985, una risorsa preziosa per la biodiversità e la produzione futura di bioenergia. Ottimi i dati sull'inquinamento: il 91,9 per cento delle coste e il 90 per cento dei fiumi hanno acque di buona qualità, mentre la maggior parte dei suoli agricoli conserva un sufficiente contenuto di carbonio organico. In calo del 4,5 per cento sul 2011 la produzione di rifiuti urbani: dai 550 chilogrammi a testa del 2006 ai 504 del 2012. La raccolta differenziata ha sfiorato il 40 per cento, +2,1 per cento sul 2011.

Le dolenti note cominciano con i 1,31 gradi di aumento delle temperature medie italiane nel 2012, ben sopra gli 0,78 gradi globali, quarto anno più caldo di sempre. E prosegue con la stabilità idrogeologica del paese. Dal 1° novembre 2011 al 31 dicembre 2012 sono avvenuti 4129 terremoti di magnitudo maggiore o uguale a 2, con una crescita di quelli con magnitudo superiore a 5, senza che siano ancora stati adottati programmi di rinforzo dell'edilizia non antisismica. Nel 2012 ci sono state 487.000 frane, di cui 85 di grandi dimensioni, in 5000 Comuni dove abitano 987.650 abitanti, mentre oltre sei milioni di italiani restano esposti al rischio alluvione.

Ma forse il dato più sconfortante, e connesso ai rischi citati, è quello del consumo di suolo: se la media del territorio cementificato dal 1950 a oggi è stata di 7 metri quadrati al secondo, negli ultimi anni si è saliti a 8.

Alex Saragosa

Trish Semple/Demotix/Corbis (*costiera amalfitana*); Junos/beyond/Corbis (*stazione meteo*)

Temperature senza termometri

La presenza di stazioni meteorologiche dotate di termometri sparse per il mondo consente di avere un quadro piuttosto dettagliato dell'andamento della temperatura globale sulle terre emerse per gli ultimi 150 anni circa. Tuttavia, spesso si sente criticare l'affidabilità di queste stime a causa dell'interferenza di alcuni fattori sul segnale climatico di fondo. Per esempio i termometri che si trovano in siti urbani o suburbani possono risentire dell'aumento di dimensione delle città e delle relative isole di calore, dando così un segnale falsato rispetto al trend climatico di fondo. Oppure gli spostamenti delle stazioni di rilevamento possono condurre a discontinuità e disomogeneità nei dati, e così via.

In generale, nell'analisi che porta alla stima delle medie globali si tiene conto anche di questi fattori, ma la polemica continua. In questo contesto, allora, sarebbe utile avere stime delle temperature ottenute senza usare i dati diretti dei termometri. Oggi, per la prima volta, ciò è stato fatto da G.P. Compo e dai suoi colleghi angloamericani, che hanno pubblicato un lavoro a questo riguardo su «Geophysical Research Letters». I ricercatori hanno usato un progetto di rianalisi dei dati meteorologici globali, la cosiddetta 20th Century Reanalysis.

Partendo da dati di pressione superficiale, temperature superficiali dei mari ed estensione dei ghiacci, hanno immesso queste informazioni in un modello meteo-climatico che descriva bene la fisica del sistema e le relazioni tra le varie grandezze. In tal modo sono stati in grado di ricostruire i valori di temperatura senza fare uso dei dati dei termometri terrestri. Mediando i dati ottenuti a livello globale si sono ottenute, in maniera completamente indipendente, ricostruzioni delle temperature molto simili a quelle ottenute usando invece i dati dei termometri.

Tutto ciò attesta chiaramente che il riscaldamento osservato nelle serie di dati climatici derivanti dalle osservazioni termometriche è ora confermato per altra via, e dunque molto probabilmente non è un artefatto dovuto a mancanze o scorrettezze nell'uso dei termometri, ma rappresenta un segnale climatico genuino e affidabile.

Antonello Pasini

LIBERTY

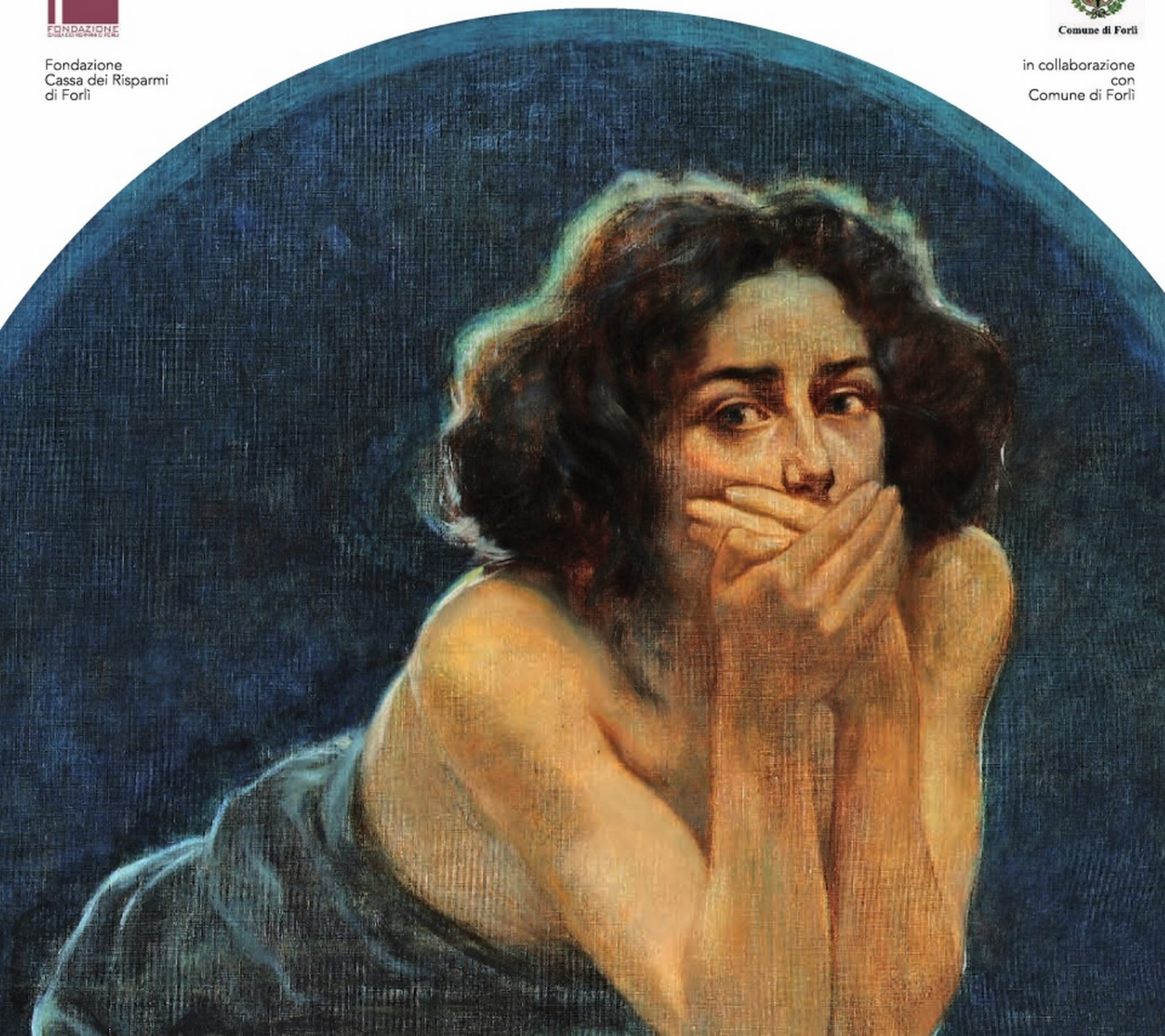
UNO STILE PER L'ITALIA MODERNA

FORLÌ Musei San Domenico 1 febbraio - 15 giugno 2014

informazioni 0543 19 12 030-031 prenotazioni servizi@civita.it catalogo SilvanaEditoriale

Fondazione Cassa dei Risparmi di Forlì

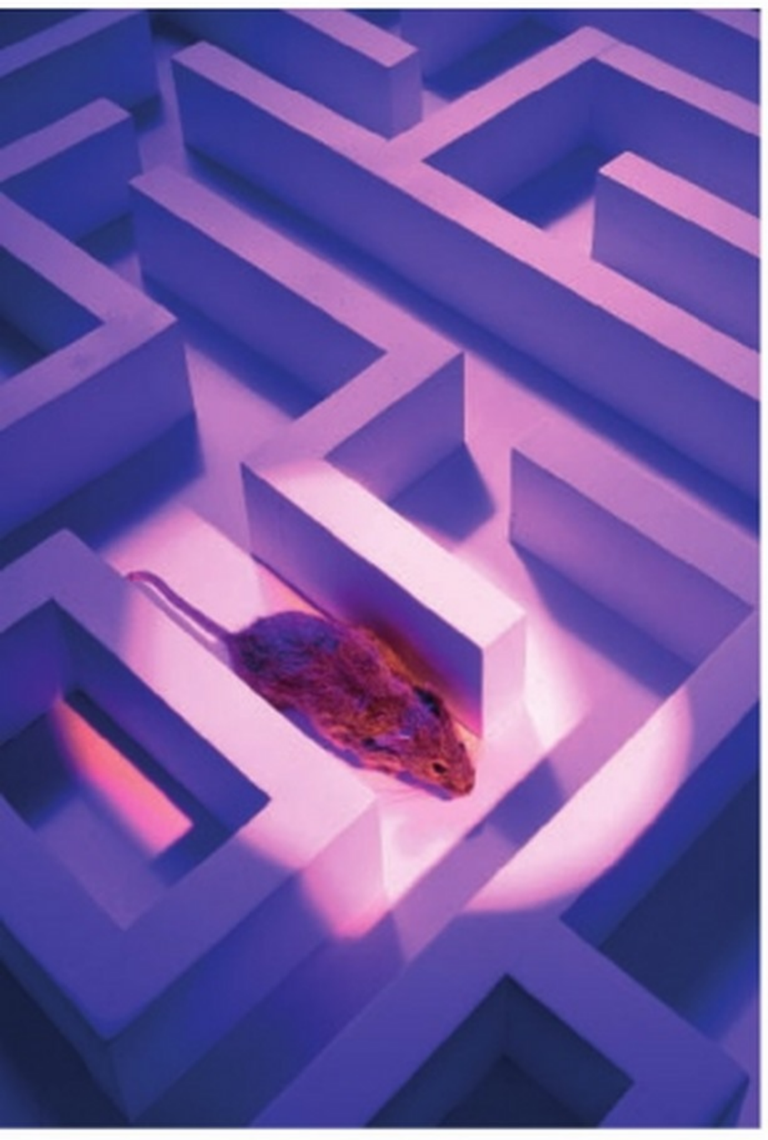
in collaborazione con Comune di Forlì



NEUROSCIENZE

Un modello animale per i falsi ricordi

Indotto per la prima volta nei topi di laboratorio il ricordo di eventi mai accaduti



Il ricordo di un'esperienza mai vissuta è stato indotto in cavie da laboratorio da un gruppo di ricerca del Massachusetts Institute of Technology. L'esperimento, pubblicato su «Science», usa topi transgenici ai quali viene applicata l'optogenetica, una tecnica per manipolare i neuroni per mezzo della luce. E i risultati potrebbero aiutare a capire come si formano ricordi chiarissimi di eventi mai successi.

Questa situazione non è così rara come si potrebbe pensare; sono moltissimi i casi in cui un testimone oculare accusa una persona in buona fede, mentre altre prove la scagionano, dimostrando che il ricordo del testimone era fittizio. All'inizio dell'esperimento, un topolino entra per esempio in una stanza con le pareti nere. Mentre la esplora, nel suo cervello si forma il ricordo di quello spazio. In particolare si attiva una rete di neuroni che rimarrà associata per sempre a quel ricordo.

I topi usati nell'esperimento sono stati modificati geneticamente in modo che quando i neuroni si attivano in essi si accumula una proteina sensibile alla luce. Successivamente il topolino viene introdotto in una seconda stanza, con le pareti rosse. Qui, gli vengono date piccole scosse nelle zampe, una sensazione che terrorizza le cavie. Però allo stesso tempo viene proiettata luce nel suo cervello, attraverso un cavo in fibra ottica inserito precedentemente nel suo cranio. La luce interagisce con le proteine fotosensibili, e riattiva esattamente l'insieme di neuroni associato al ricordo della stanza nera. Infine, gli scienziati rimettono il topolino nella stanza nera e a questo punto osservano che l'animale rimane immobile: un chiaro segno di terrore. In sostanza, il topo associa la paura della scossa alla stanza nera, nella quale non gli è stata mai somministrata.

Fortunatamente le potenziali applicazioni sull'uomo sono lontane. Per applicare una tecnica simile dovrebbero progredire la terapia genica con vettori virali e le tecniche di stimolazione profonda del cervello, attualmente applicate con l'inserimento di elettrodi nel cervello di pazienti con malattie psichiatriche.

Michele Catanzaro

Memoria a lungo termine anche per le scimmie antropomorfe

L'essere umano non è l'unica specie in grado di elaborare ricordi a lungo termine. Uno studio su «Current Biology» ha mostrato come questa caratteristica sarebbe infatti un trato che abiamo in comune con le scimmie antropomorfe. La scoperta è stata effettuata da un gruppo di primatologi che ha testato le capacità di scimpanzé e orangutan nel replicare due test intellettivi su cui si erano cimentati in tempi precedenti.

In particolare, i primati sono stati chiamati a ritrovare alcuni strumenti nascosti, che dovevano poi essere utilizzati per raggiungere una ricompensa: le modalità e la sequenza per completare i test erano le stesse che gli individui oggetto di studio avevano sperimentato una sola volta due settimane prima e quattro volte ben tre anni prima. I due test, inoltre, erano simili sia tra loro che rispetto ad altre decine di esperimenti a cui sono stati sottoposti nel corso degli ultimi anni, in cui sussistevano condizioni analoghe e avvenivano sotto la supervisione degli stessi sperimentatori e nei medesimi luoghi. La differenza tra i test consisteva soltanto nella posizione degli strumenti da utilizzare e nella sequenza delle azioni da compiere.

Nonostante queste apparenti difficoltà, tutti i primati sono stati in grado di portare a termine con successo entrambi i test in tempi rapidissimi, senza commettere alcun errore nella sequenza delle azioni da svolgere. Questo risultato evidenzia la capacità di scimpanzé e orangutan di dirimere tra eventi distinti del passato, anche remoto: le scimmie antropomorfe sono dunque capaci collegare mentalmente elementi differenti relativi a situazioni molto simili. Ed è proprio questo concetto di legame spazio-temporale tra elementi che suggerisce un possibile ruolo della memoria autobiografica involontaria, quel fenomeno che si innesca quando un indizio sensoriale nel presente rievoca un evento passato, in questo processo mnemonico a lungo termine.

Sebbene siano necessari ulteriori studi, è possibile che la memoria autobiografica involontaria si sia evoluta negli antenati comuni a uomo e scimmie antropomorfe per facilitare la risoluzione di situazioni ricorrenti.

Andrea Romano

Thom Lang/Corbis (*topo*); Keren Su/Corbis (*orangutan*)

Y&R

Oggi puoi leggere
Le Scienze direttamente su iPad.

La nuova applicazione disponibile sull'edicola Newsstand di iPad.

Porta Le Scienze sempre con te. Scarica l'applicazione sul tuo iPad e sfoglia i migliori approfondimenti su scienza, tecnologia ed innovazione. Scegli l'abbonamento che preferisci e leggi la rivista in prova gratuita per 1 mese.

Le Scienze

GENETICA

Il ruolo maschile del cromosoma femminile

La produzione di sperma sarebbe collegata a geni che si trovano sul cromosoma X

Il cromosoma X, il cromosoma sessuale femminile, è implicato nella produzione di sperma da parte del maschio. Questo ruolo insospettabile è stato scoperto da un gruppo di biologi coordinati da David Page del Whitehead Institute di Cambridge, in Massachusetts. Come spiegano nell'articolo, pubblicato su «Nature Genetics», si tratta della conclusione inattesa di uno studio comparativo sull'evoluzione del cromosoma X, concepito per testare l'ipotesi per cui quest'ultimo sia rimasto di fatto invariato lungo il cammino evolutivo dei mammiferi.

Per effettuare lo studio i ricercatori hanno dovuto prima ottenere una nuova sequenza per il cromosoma X umano, perché quella di riferimento, un mosaico di frammenti di 16 individui, non era abbastanza precisa. Per farlo, hanno applicato la loro nuova tecnica di sequenziamento messa a punto nei precedenti lavori sulla controparte maschile, il cromosoma Y.

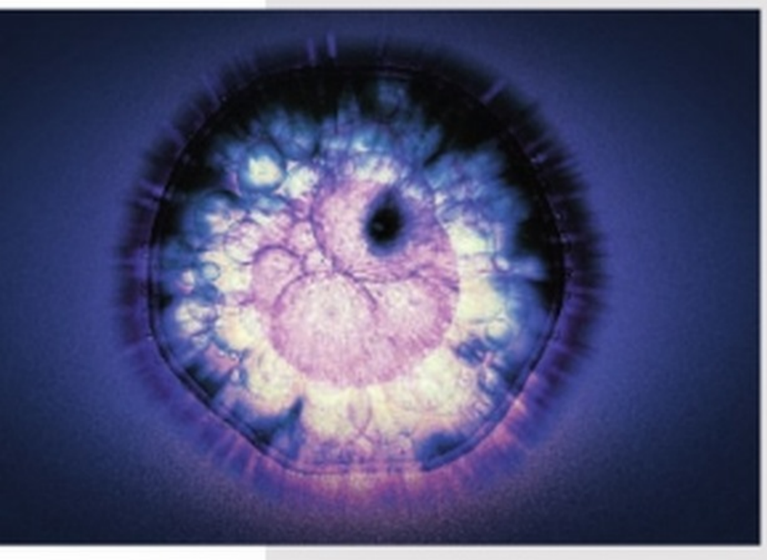
Il confronto tra i cromosomi X umano e murino ha confermato l'esistenza di una condivisione del 95 per cento dei geni fra le due specie, ma ha messo in luce circa 340 geni non condivisi, espressi esclusivamente nelle cellule germinali dei testicoli, dove partecipano con ogni probabilità alla produzione di sperma. Page e colleghi ipotizzano che questi geni «maschili» siano stati acquisiti indipendentemente nel corso degli 80 milioni di anni che separano la specie umana da quella murina, e concludono che il cromosoma X sia meno stabile del previsto, anzi piuttosto variabile rispetto ad altre porzioni del genoma.

Questi geni potrebbero essere responsabili di alcune disfunzioni riproduttive, ed è ipotizzabile che siano coinvolti anche nella sterilità degli ibridi, che ha un ruolo chiave negli eventi di speciazione. Se così fosse, anche l'ampia diversificazione dei mammiferi, che ha preso avvio nel Paleocene, potrebbe essere legata a doppio filo alla genetica del cromosoma X.

Fabio Perelli

Competizione cellulare embrionale

Tra il terzo e il settimo giorno dopo la fecondazione, negli embrioni di topo si verifica una vera e propria competizione tra cellule: quelle più «forti» eliminano le altre assicurando lo sviluppo di un organismo il più robusto possibile, capace di sostenere al meglio le funzioni vitali dell'individuo nell'intero arco della vita. La misura della forza cellulare, spiegano i ricercatori del Centro Nacional de Investigaciones Cardiovasculares di Madrid che hanno osservato il fenomeno descrivendolo su «Nature», è nei livelli di Myc, una proteina legata al controllo della capacità metabolica cellulare. Le cellule che hanno maggiori quantità di Myc eliminano le altre riciclandone componenti e nutrienti a beneficio dell'embrione in sviluppo.



I ricercatori hanno osservato il fenomeno in diretta creando embrioni di topo costituiti da due linee cellulari, una caratterizzata da livelli di proteina più elevati dell'altra. Dopo appena tre giorni di sviluppo, le cellule con più Myc avevano eliminato le altre nonostante queste ultime fossero perfettamente funzionali. Vengono rimosse solo perché nell'embrione ce ne sono di migliori capaci di sostituirle, sottolineano i ricercatori: si tratta di un meccanismo di ottimizzazione, non di riparazione.

Martina Saporiti

3d4Medical.com/Corbis

Banca dati genetica tra cugini

Un enorme sforzo collettivo, che ha coinvolto oltre 70 scienziati in tutto il mondo, ha portato alla creazione di un'ampia banca dati che descrive la variabilità genetica dell'uomo e delle scimmie antropomorfe. Il lavoro, pubblicato su «Nature», è il più completo e accurato in questo ambito, e permette di ricostruire la storia evolutiva dei nostri cugini negli ultimi 15 milioni di anni, oltre a far emergere dati utili alla conservazione delle specie e alla ricerca biomedica.

I genomi di 79 esemplari appartenenti alle sei specie di scimmie antropomorfe più vicine all'uomo (scimpanzé, bonobo, gorilla di montagna e di pianura, orangutan del Borneo e di Sumatra) sono stati analizzati e messi a confronto con il DNA di nove individui della nostra specie.

Le sorprese principali arrivano dalla storia evolutiva delle grandi scimmie: l'evoluzione degli scimpanzé, in particolare, ha seguito un cammino ben più intricato del nostro, segnato da continue fluttuazioni delle dimensioni delle popolazioni.

L'ampia banca dati custodisce inoltre i segreti che ci hanno resi umani, con lo sviluppo del linguaggio e delle capacità cognitive. E in futuro permetterà di fare luce sulle basi genetiche delle malattie che condividiamo con le altre specie, come HIV, ebola e molti disturbi neurologici, così da individuare contromisure più mirate.

Fabio Perelli

DLILLC/Corbis

GENETICA

Spenti i geni della sindrome di Down

Un gruppo di ricerca è riuscito a silenziare la copia extra del cromosoma 21 in colture cellulari

Dai laboratori della University of Massachusetts Medical School arriva una scoperta che potrebbe rappresentare una rivoluzione nello studio della sindrome di Down. Su «Nature», il gruppo di ricerca diretto dalla biologa dello sviluppo Jeanne Lawrence ha dimostrato che è possibile, almeno in linea di principio, disattivare la copia in eccesso del cromosoma 21 che causa la sindrome.

Il metodo ideato dal gruppo di Lawrence è rivoluzionario, perché nessuno prima era riuscito a silenziare un intero cromosoma, ma solo singoli geni. I ricercatori hanno sfruttato il gene a RNA chiamato *XIST*, che normalmente ha il compito di «spegnere» una delle due copie del cromosoma X nelle femmine dei mammiferi. Per farlo, la molecola per cui codifica *XIST* ricopre il cromosoma, impedendo che i geni in esso contenuti possano essere usati dalle cellule per sintetizzare proteine.

Nell'esperimento, Lawrence e colleghi hanno usato staminali umane pluripotenti *in vitro* derivate da persone affette da sindrome di Down, quindi con tre copie del cromosoma 21. I ricercatori hanno inserito una copia di *XIST* sul cromosoma in eccesso e hanno poi fatto in modo che la cellula si replicasse. Quindi hanno verificato se il cromosoma era attivo nelle cellule «figlie», trovando così che nella maggior parte di queste cellule la produzione delle proteine codificate dalla terza copia del cromosoma era assai ridotta, tanto che i livelli erano paragonabili a quelli di cellule normali.

Oggi siamo ancora lontani da una cura per la sindrome di Down, ma il passo in avanti segnato dal nuovo studio è decisivo. In futuro sarà infatti possibile studiare la malattia in laboratorio su modelli cellulari. «Finalmente – spiega Lawrence – abbiamo un potente strumento per identificare e studiare le patologie cellulari e i meccanismi genetici che vengono compromessi nella sindrome di Down».

Simone Valesini

Pasieka/SPL/Corbis (*Illustrazione cromosoma X, a fronte*); Krista Ewert/Design Pics/Design Pics/Corbis (*questa pagina*)

LEGGERE NON È SOLO UN ATTO TECNICO, NÉ SOLO UN PROCESSO MENTALE. LEGGERE È SOPRATTUTTO UN PROGETTO DI COSTRUZIONE DEL CERVELLO.
FRANK SCHIRRMACHER

codice EDIZIONI

info@codiceedizioni.it
codiceedizioni.it

facebook.com/codiceedizioni
twitter.com/codiceedizioni
pinterest.com/codiceedizioni

In uscita a settembre

MARIO DE CARO, ANDREA LAVAZZA, GIUSEPPE SARTORI
QUANTO SIAMO RESPONSABILI?
FILOSOFIA, NEUROSCIENZE E SOCIETÀ
PP. 352, EURO 16,90

DAI CURATORI DI "SIAMO DAVVERO LIBERI?", UN LIBRO INTERDISCIPLINARE SU UNO DEGLI ASPETTI PIÙ AFFASCINANTI DELLA NATURA UMANA: IL CONCETTO DI RESPONSABILITÀ.

Tempi Moderni
AYESHA E PARAG KHANNA
L'ETÀ IBRIDA
IL POTERE DELLA TECNOLOGIA NELLA COMPETIZIONE GLOBALE
PP. 128, EURO 11,90

UNO SGUARDO CORAGGIOSO SUL PRESENTE CHE VIVIAMO E SUL FUTURO CHE CI ATTENDE. LA GEOTECNOLOGIA COME NUOVA FRONTIERA DELLA GEOPOLITICA.

Cambiamento climatico e piante

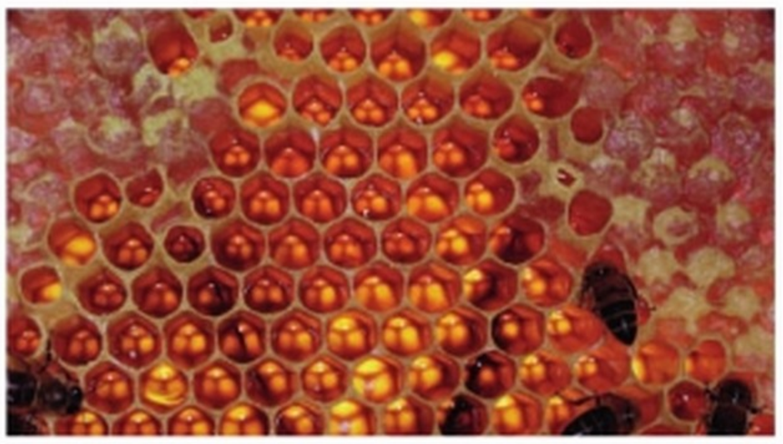
La fusione delle calotte polari, il ritiro dei ghiacciai, la maggiore intensità e frequenza di tempeste e nubifragi sono i fenomeni più noti collegati al riscaldamento globale. Ma come reagiscono gli ecosistemi? Lontano dal clamore mediatico, molti scienziati lavorano per raccogliere dati, attivare collaborazioni interdisciplinari e usare innovative tecniche sperimentali e di modellizzazione per monitorare in che modo organismi ed ecosistemi rispondono ai cambiamenti in corso.
Un numero speciale dell'«American Journal of Botany» dedicato al cambiamento biologico globale, espande la conoscenza su come i cambiamenti climatici influenzino e siano influenzati dalle piante. Dato che rappresentano la base delle catene alimentari, questi organismi svolgono un ruolo cruciale negli ecosistemi come produttori di biomassa.
Dalle piante dipende gran parte della vita sulla Terra, e la nostra stessa sopravvivenza. È fondamentale quindi studiarne fisiologia, ecologia, tassonomia ed evoluzione con un approccio integrato. Capire come abbiano risposto ai cambiamenti climatici nel passato, e come potrebbero rispondere a quelli che ci aspettano, servirà ad adottare le cruciali contromisure. (**EuMe**)

La luce nell'abisso rilevata da Antares

Due esplosioni di luce hanno illuminato il fondo del Golfo del Leone, sul versante meridionale delle coste francesi, nelle primavere 2009 e 2010. Le ha rilevate il telescopio sottomarino Antares, costruito per studiare i neutrini. Uno studio pubblicato su «PLoS One» da un gruppo coordinato da Christian Tamburini, del Mediterranean Institute of Oceanography di Marsiglia, ha rivelato che queste espolosioni di luce sono il risultato di una complessa interazione fra meteorologia e organismi sottomarini.

Secondo gli autori il processo inizia in primavera perché l'acqua del mare è più fredda e nel Golfo del Leone viene spazzata da venti freddi e secchi. Questo genera una grande sacca di acqua densa e salata in superficie, che scende verso il fondo: la ripetizione del processo genera un fenomeno di convezione che trascina verso cappe d'acqua intermedie i nutrienti della superficie e del fondo. Grazie alla presenza di questi nutrienti, i batteri sospesi nel mare cominciano a riprodursi, un processo accompagnato dall'emissione di luce, una strategia usata dai batteri per attrarre gli organismi che vogliono colonizzare. Sarebbe proprio questa luminosità il segnale rilevato da Antares, composto da una rete di strumenti collocati sul fondo marino, a dieci chilometri dalla costa di Nizza. (**MiCa**)

Il segreto dei favi

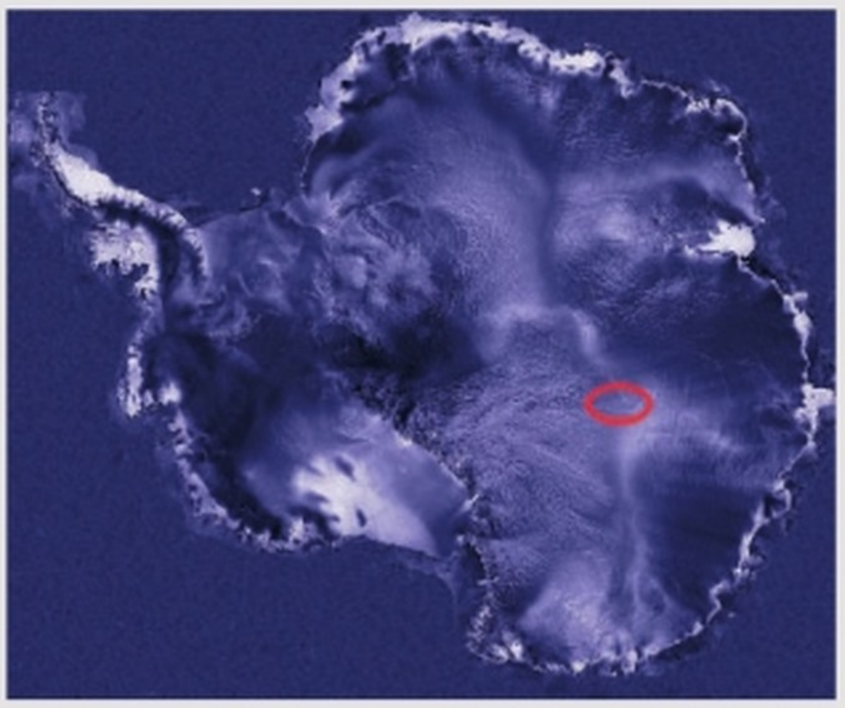


Gli esagoni perfetti dei favi delle api non sarebbero opera della maestria architettonica di questi insetti, ma il risultato della tensione superficiale della cera riscaldata, secondo uno studio pubblicato sul «Journal of the Royal Society Interface» da ricercatori dell'Università di Cardiff. Gli scienziati hanno interrotto le api in varie fasi della fabbricazione dei favi. In questo modo, hanno verificato che nella fase iniziale, le cellette hanno forma circolare, e solo in seguito assumono quella esagonale.

Secondo lo studio, le api fanno favi circolari che si accostano l'uno all'altro come bolle. La cera, ammorbidita dal calore del corpo delle api, assume poi una forma esagonale nei punti di congiunzione di tre bolle diverse a causa della tensione superficiale. Questa forza potrebbe essere sufficiente per la formazione della struttura, ma i ricercatori non escludono che le api possano svolgere un ruolo nel consolidarla, per esempio con materiale aggiuntivo. (**MiCa**)

C'è vita nel Lago Vostok?

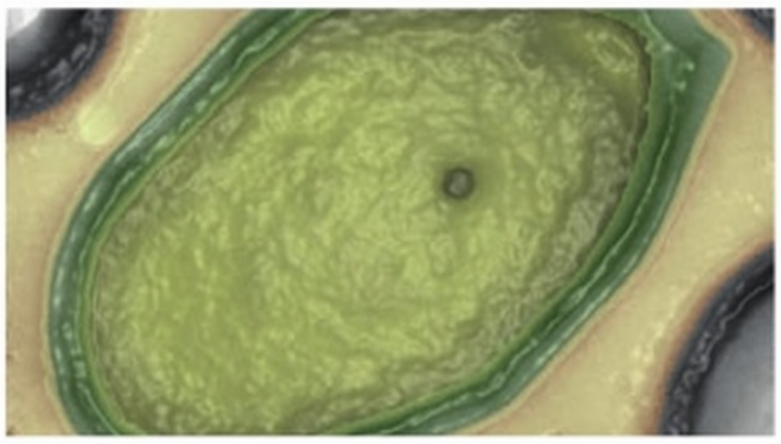
La vita potrebbe celarsi nelle profondità del Lago Vostok, in Antartide, uno dei luoghi più inospitali del pianeta. La sua superficie è sommersa da una coltre di ghiaccio spessa 4 chilometri (*nel cerchio rosso la posizione del lago*), e nelle sue acque ci sono temperature e pressioni estreme e una totale oscurità. Eppure, a giudicare da un studio pubblicato su «PLoS One», il lago potrebbe ospitare una comunità biologica ricca e complessa.



Un gruppo di ricercatori della Bowling Green State University, in Ohio, coordinato da Scott Rogers, ha analizzato alcune carote di ghiaccio estratte dal lago, scoprendo varie tracce di materiale genetico. In particolare gli scienziati sono risaliti all'identikit di numerosi microrganismi estremofili, oltre a crostacei, molluschi e altri invertebrati tipici di ambienti lacustri.
Ma la scoperta più sorprendente riguarda un batterio che di norma vive nell'intestino di alcuni pesci, il che spinge gli autori a ipotizzare la presenza di vertebrati, possibile testimonianza di un ecosistema intrappolato sotto i ghiacci da 15 milioni di anni.
Questi indizi appaiono promettenti anche per la ricerca di vita extraterrestre, ma il potenziale rischio di contaminazioni dei campioni invita i ricercatori alla cautela. (**FaPe**)

Glowimages/Corbis (*piante e riscaldamento climatico*); Stephen Dalton/Minden Pictures/Corbis (*favi e api*); cortesia NASA/GISS (*Antartide*)

Il vaso dei *Pandoravirus*



Cortesia Emiliano Trocco (*illustrazione Tatouinea hannibalis*); cortesia Chantal Abergel/Jean-Michel Claverie; DLILLC/Corbis (*scimpanzé*)

«Science» descrive la scoperta di due virus giganti, le cui dimensioni non hanno precedenti tra questi organismi. Sia la lunghezza, che raggiunge un micrometro, sia il genoma, composto da circa due milioni di coppie di basi, sono paragonabili a quelli dei batteri e di alcuni parassiti eucarioti. Inoltre non mostrano somiglianze morfologiche e genetiche con nessun esponente delle famiglie di virus identificate. Data questa premessa, i ricercatori li hanno battezzati *Pandoravirus salinus*, trovato a largo delle coste cilene, e *P. dulcis*, il più grande dei due, che abita il fondo di un lago di acqua dolce in Australia.

Il termine *Pandoravirus* si riferisce alle possibili future sorprese che potrebbero emergere da un loro studio più approfondito. Una prima analisi genomica mostra infatti che la maggior parte dei geni individuati non sono condivisi con nessuna specie conosciuta, a indicare che la loro origine non può essere tracciata da nessun organismo cellulare noto. (AnRo)

Prove di mare acido nella Terra del futuro

Attorno all'isolotto del Castello Aragonese a Ischia, emissioni sottomarine di CO_2 quasi pura, prive di solfuro di idrogeno, acidificano il mare, simulando quanto avverrà in futuro per le emissioni antropiche. La biologa marina Maria Cristina Gambi, della Stazione zoologica «Anton Dohrn», e le colleghe Kristy Kroeker e Fiorenza Micheli hanno effettuato qui il loro esperimento sul futuro, pubblicando i risultati sui «Proceedings of the National Academy of Sciences».

«Abbiamo ripulito da ogni forma di vita varie zone di fondale – dice Gambi – a distanze diverse dalle sorgenti di anidride carbonica, in modo che alcune fossero in acque con normale pH 8,3, altre in acque con pH 7,7, come quello previsto per il 2100, e altre in acque con pH 6,9, acidità che si potrebbe raggiungere nel 2300. Poi abbiamo seguito per 30 mesi il ritorno delle varie specie».

Ebbene, nelle zone ad alta e media acidità l'ecosistema è risultato alterato da un'eccessiva presenza di alghe. «A fare la differenza sono i ricci di mare, divoratori di alghe, che non riescono a vivere in acque acidificate, che attaccano il loro scheletro calcareo. Senza ricci, le alghe occupano ogni spazio, impedendo la diversificazione degli ecosistemi. E molte altre specie dotate di guscio o scheletro calcareo avranno le stesse difficoltà». (AlSa)

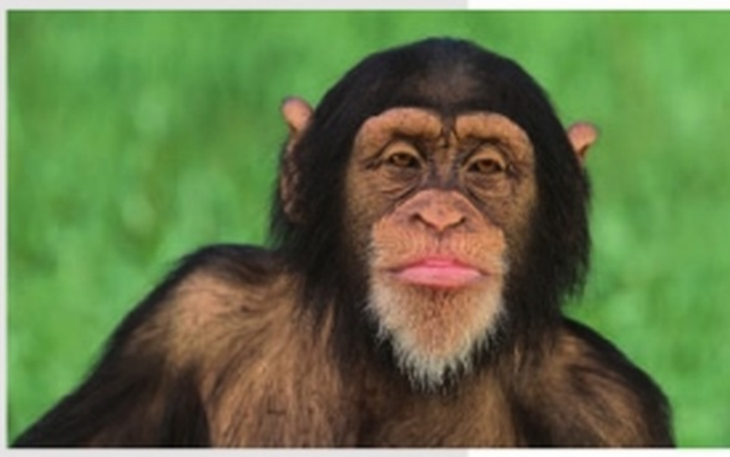
Nuovo dinosauro scoperto in Tunisia da scienziati italiani

Tataouinea hannibalis (*nell'illustrazione*) è il nome di un nuovo dinosauro trovato in Tunisia e risalente al Cretaceo inferiore, ovvero a circa 110 milioni di anni fa. La scoperta è di grande interesse, perché si tratta del primo scheletro articolato di dinosauro proveniente da questo paese nordafricano, e porta la firma di ricercatori italiani: Federico Fanti e Michela Contessi dell'Università di Bologna e Andrea Cau del Museo geologico «Giovanni Capellini» di Bologna. La descrizione dell'animale, effettuata in collaborazione con Mohsen Hassine dell'Office National Des Mines di Tunisi, è stata pubblicata sulle pagine di «Nature Communications».

Il fossile scoperto in Tunisia appartiene ai sauropodi, ed è grande e pesante, tuttavia mostra un sistema respiratorio simile a quello che si osserva negli uccelli. Le sue ossa sono infatti pneumatizzate, vale a dire sono dotate di cavità aeree, addirittura in distretti scheletrici di norma non interessati da questo fenomeno. In particolare, *Tataouinea hannibalis* è il primo dinosauro con un forame pneumatico nell'ischio, un osso del bacino. (FaPe)

Ricerca biomedica senza scimpanzé

Gli Stati Uniti riducono al minimo l'uso di scimpanzé per la ricerca. Francis Collins, direttore dei National Institutes of Health (NIH), ha annunciato che oltre 300 primati di proprietà dell'agenzia statunitense saranno trasferiti in centri specializzati e gran parte degli esperimenti saranno cancellati. Solo 50 scimpanzé resteranno a disposizione per ricerche che saranno limitate a procedure non invasive ed effettuate in ambienti adeguati alle loro esigenze.
La decisione arriva dopo un dibattito che ha coinvolto



associazioni per i diritti degli animali, la primatologa Jane Goodall, e con il parere di un'apposita commissione.
Secondo Collins, nuovi metodi scientifici hanno reso in gran parte superfluo l'uso di scimpanzé: «La loro vicinanza con gli esseri umani li ha resi incredibilmente utili per alcune ricerche, ma rende necessario avere motivazioni importanti per usarli».
Gli scimpanzé condividono con gli esseri umani il 98 per cento del patrimonio genetico, e per questo sono utili per la sperimentazione. È probabile che negli Stati Uniti gli scimpanzé continueranno a essere usati per ricerche su vaccini, patologie autoimmuni e cancro, anche se il loro impiego sarà regolamentato più strettamente. (AlDe)

ASTRONOMIA

Albe di cieli lontani

La nostra galassia ospita un numero elevato di pianeti. Analizzandone l'atmosfera, gli scienziati cercano indizi di forme di vita extraterrestre

di Michael D. Lemonick

Cortesia European Southern Observatory

Michael D. Lemonick collabora a Climate Central, un sito web giornalistico no profit, ed è autore di *Mirror Earth: The Search for Our Planet's Twin* (Walker Books, 2012). Per 21 anni è stato giornalistica scientifico di «Time».

Nessuno dei presenti, dall'astrofisico di lungo corso al giornalista scientifico più inesperto, probabilmente riuscirà a dimenticare la conferenza stampa tenutasi nel gennaio 1996 all'incontro invernale della American Astronomical Society a San Antonio, in Texas.

Fu in quell'occasione che Geoffrey W. Marcy, astronomo allora alla San Francisco State University, annunciò di aver individuato, insieme con il collega R. Paul Butler, il secondo e terzo pianeta orbitanti attorno a una stella di tipo solare. La scoperta del primo di questi pianeti, 51 Pegasi b, era stata annunciata qualche mese prima da Michel Mayor e Didier Queloz, dell'Università di Ginevra, ma una singola rilevazione poteva essere un falso segnale, o anche un errore. Ora Marcy poteva affermare con sicurezza che non c'erano più dubbi. «I pianeti – dichiarò al pubblico numeroso – non sono affatto rari».

L'annuncio scosse il mondo dell'astronomia. Fino a quel momento quasi nessuno aveva cercato pianeti al di fuori del sistema solare perché gli scienziati erano convinti che sarebbero stati troppo difficili da scoprire. Ora, dopo aver esaminato un numero abbastanza ridotto di stelle, gli astronomi avevano scoperto tre pianeti, e questo suggeriva che potessero essercene miliardi in attesa di essere trovati.

Se Butler e Marcy si fossero limitati a risolvere un problema relativo alla teoria della formazione dei pianeti, la loro scoperta non avrebbe avuto tanta risonanza. Ma la scoperta dimostrava inequivocabilmente l'esistenza dei cosiddetti esopianeti, e dunque offriva la possibilità di rispondere a una domanda che aveva dato filo da torcere a filosofi, scienziati e teologi fin dai tempi dell'antica Grecia: siamo soli nell'universo?

Dopo l'euforia iniziale gli scienziati cominciarono a chiedersi come avrebbero potuto indagare la possibile presenza di forme di vita anche molto primitive su un pianeta in orbita attorno a una stella lontana. A meno di non intercettare una trasmissione radio extraterrestre, come accade a Jodie Foster nel film *Contact*, l'unico modo per procedere sembrava la ricerca di biofirme, o firme biologiche, nell'atmosfera dei pianeti extrasolari: ovvero prove di molecole molto reattive, come l'ossigeno, che sparirebbero rapidamente se qualche tipo di organismo metabolizzante non ne reintegrasse le riserve.

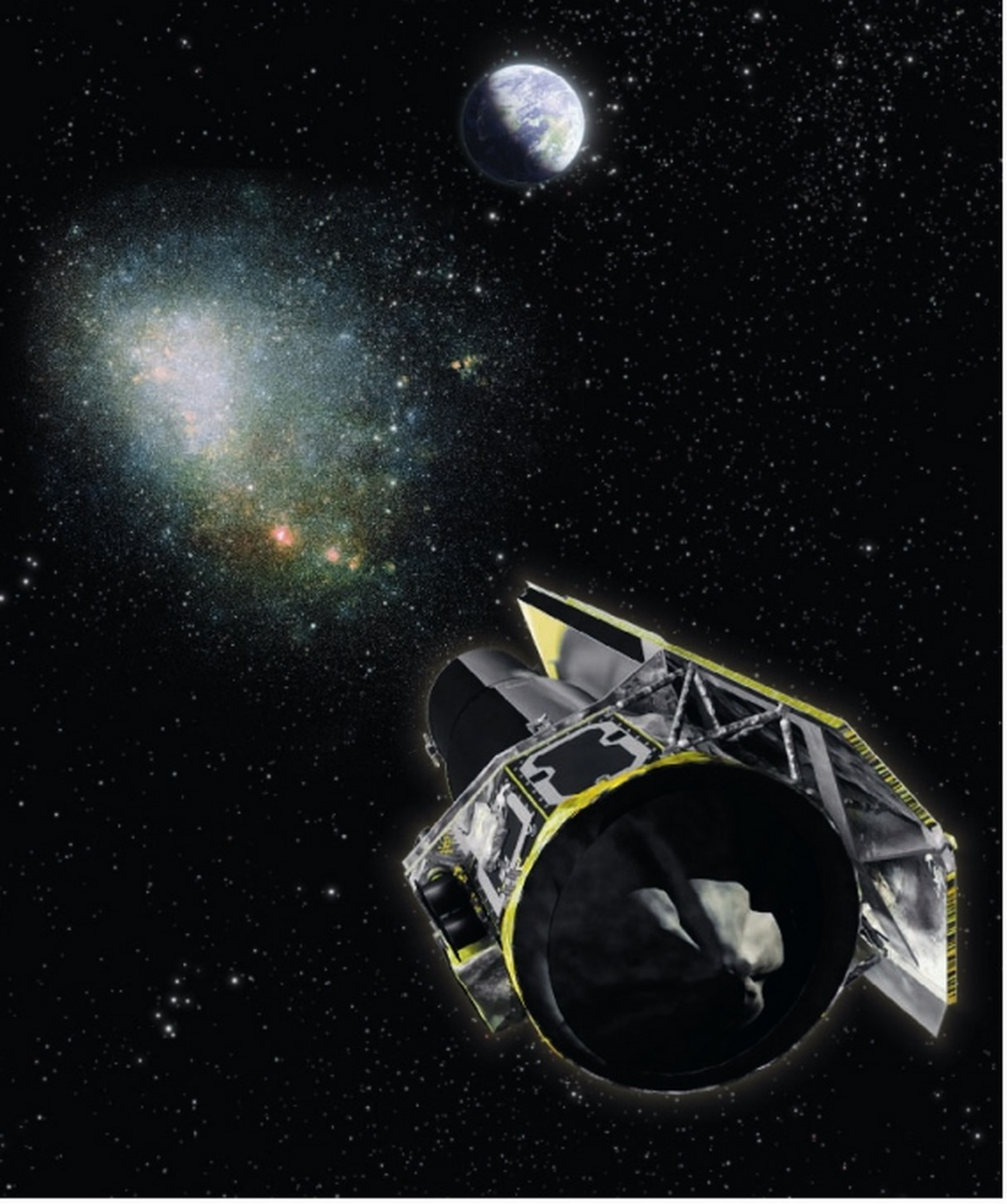
Marcy, Mayor e colleghi avevano osservato solo gli effetti gravitazionali esercitati dai pianeti sulla loro stella; per individuare una firma biologica sarebbe stato necessario osservarne direttamente l'esoatmosfera. Con questo obiettivo la NASA programmò

IN BREVE

In passato si pensava che fosse quasi impossibile studiare le atmosfere di esopianeti lontani, a causa del disturbo eccessivo dovuto alla luminosità della loro stella.

Ma quando hanno iniziato a osservare il transito di esopianeti dietro la loro stella, gli scienziati hanno capito che la conseguente variazione della luminosità stellare poteva dare preziosi indizi sulla composizione delle atmosfere planetarie.

Oggi queste tecniche sono usate per rilevare atomi e molecole nelle atmosfere degli esopianeti. Gli astronomi sperano di poter estendere presto le ricerche anche a molecole in grado di fornire prove di vita extraterrestre.



Eclissi solare. Lo Spitzer Space Telescope è in grado di rilevare la piccolissima variazione di luminosità che si verifica quando un pianeta passa dietro la propria stella.

Cortesia California Institute of Technology e NASA

il lancio di una serie di telescopi spaziali sempre più potenti, che avrebbe dovuto culminare in un telescopio orbitante, il Terrestrial Planet Finder Interferometer, del costo di miliardi di dollari e il cui lancio era previsto per il decennio successivo al 2020. In breve, gli astronomi sapevano che non avrebbero imparato tutto sulle atmosfere degli esopianeti in breve tempo.

Ma le cose andarono diversamente. La scoperta dei primi esopianeti ispirò un'intera generazione di giovani scienziati a occuparsi di quella che all'improvviso era diventata la specialità più attraente dell'astrofisica e a convincere molti dei loro colleghi più anziani a dedicarsi all'esoplanetologia. L'afflusso di «cervelli» portò con sé nuove idee per studiare le atmosfere esoplanetarie e le cose iniziarono ad andare molto più veloci. Nel 2001 fu rilevato sodio nell'atmosfera di un esopianeta. Da allora sono stati rilevati anche metano, anidride carbonica, monossido di carbonio e acqua. Analizzando le atmosfere esoplanetarie, sono stati scoperti indizi indiretti del fatto che alcuni pianeti potrebbero essere in parte costituiti da diamante puro. «Al momento – spiega Heather Knutson, astrofisica del California Institute of Technology che ha partecipato a molte di queste osservazioni pionieristiche – abbiamo informazioni sulle atmosfere di circa 30-50 pianeti, se si contano anche le ricerche non ancora pubblicate».

Queste scoperte sono ancora lontane dal fornire prove della presenza di forme di vita, e questo non sorprende, dato che i pianeti a cui Knutson si riferisce sono per la maggior parte corpi caldi, di dimensioni confrontabili con Giove, che percorrono attorno alla loro stella orbite più strette di quella dell'infuocato Mercurio attorno al Sole. Tuttavia, Knutson e altri osservatori hanno iniziato ad analizzare sempre più di frequente le atmosfere di pianeti più piccoli, le cosiddette super-Terre, con una massa compresa tra 2 e 10 volte quella del nostro pianeta: oggetti che, solo dieci anni fa, nessuno avrebbe pensato di poter indagare.

Lo scorso aprile, l'annuncio della scoperta, effettuata dal telescopio spaziale Kepler, di due pianeti grandi meno del doppio della Terra, entrambi orbitanti a una distanza dalla loro stella dove la temperatura potrebbe permettere la sopravvivenza della vita, ha fornito un ulteriore indizio del fatto che i mondi abitabili sono quasi certamente numerosi. Quindi, sebbene questi pianeti, Kepler 62e e Kepler 62f, siano troppo lontani per poterli studiare in dettaglio, gli astronomi sono convinti che non passeranno molti anni prima che sia possibile andare in cerca di firme biologiche nell'atmosfera di pianeti sostanzialmente gemelli della Terra.

Il pianeta nel parcheggio

Gli astronomi avevano ipotizzato che sarebbero stati necessari decenni per poter iniziare lo studio delle atmosfere esoplanetarie perché i primi esopianeti erano stati scoperti in modo indiretto, evidenziando l'influenza gravitazionale che esercitano sulla loro stella. Di per sé i pianeti erano invisibili ma, dato che i due corpi orbitano attorno a un mutuo centro di gravità, l'attrazione gravitazionale del pianeta fa sì che la stella sembri oscillare sul posto. Quando una stella si muove verso di noi la sua luce si sposta leggermente verso l'estremità blu dello spettro del visibile, mentre quando si allontana la luce si sposta leggermente verso il rosso. Dall'entità dello spostamento è possibile calcolare la velocità radiale della stella, cioè quanto velocemente si muove nella direzione della Terra o in quella opposta, e di conseguenza anche la massa dell'esopianeta.

Tuttavia c'era anche un'altra opzione per la rilevazione di esopianeti. Se dalla Terra l'orbita del pianeta invisibile appare perfettamente di taglio, è possibile osservare periodicamente il cosiddetto transito, cioè il passaggio del pianeta direttamente di fronte alla stella. All'epoca di quelle prime scoperte, 15 anni fa, pochi astrofisici pensavano a questa possibilità, semplicemente perché la ricerca degli esopianeti era un ambito di studio piuttosto marginale. (Una notevole eccezione era William J. Borucki, dell'Ames Research Center della NASA, la cui sonda Kepler alla fine avrebbe scoperto migliaia di oggetti che effettuavano transiti.)

Nel 1999 Timothy W. Brown, allora al National Center for Atmospheric Research, e David Charbonneau, all'epoca specializzando della Harvard University, installarono un piccolo telescopio amatoriale in un parcheggio a Boulder, nel Colorado, e osservarono per la prima volta il transito di un esopianeta. Si trattava di HD 209458b, che era già stato rilevato con la tecnica della velocità radiale. Alcune settimane dopo Gregory W. Henry, della

Tennessee State University, in collaborazione con Marcy, osservò nuovamente il transito dello stesso pianeta. Il merito della scoperta fu attribuito a entrambi i gruppi, dato che le due osservazioni vennero pubblicate simultaneamente.

Oltre a offrire agli astronomi un metodo alternativo per andare in cerca di esopianeti, il fatto che fosse effettivamente possibile individuare i transiti permise anche di misurarne la densità. Con la tecnica della velocità radiale era stata determinata la massa di HD 209458b. Ora gli astronomi ne conoscevano anche la grandezza, perché questo parametro è direttamente proporzionale alla quantità di luce stellare bloccata dal pianeta. (Dividendone la massa per il volume si trovò che HD 209458b, pur essendo del 38 per cento più grande di Giove, ha una massa pari solo al 71 per cento di quest'ultimo: un risultato inatteso, che Adam Burrows, astrofisico della Princeton University, definisce «un problema di cui non si vede ancora la soluzione».)

A questo punto diversi astrofisici avevano ormai capito che i transiti, sfruttando quella che Knutson definisce «una scorciatoia veramente astuta», permettevano anche di studiare l'atmosfera di un esopianeta. In effetti, già prima che venissero osservati transiti planetari Sara Seager, astrofisica del Massachusetts Institute of Technology e allora compagna di Charbonneau nel corso di specializzazione a Harvard, aveva pubblicato insieme al suo relatore Dimitar D. Sasselov un articolo in cui era previsto quello che un osservatore avrebbe potuto vedere quando la luce di una stella attraversa l'atmosfera di un pianeta durante il transito di quest'ultimo (si veda l'articolo *Nuove Terre al di là del Sole*, di Dimitar D. Sasselov e Diana Valencia, in «Le Scienze» n. 506, ottobre 2010). Da molto tempo i fisici sanno che i diversi atomi e molecole assorbono luce di lunghezze d'onda specifiche. Se osservate i pianeti a una lunghezza d'onda che corrisponde alla molecola che state cercando, ogni atmosfera che contiene quella molecola assorbirà la luce. L'atmosfera planetaria normalmente evanescente diventerà opaca, facendo sembrare il pianeta sembra più grande.

Seager e Sasselov proposero che il sodio fosse particolarmente facile da rilevare. «Il sodio è come l'odore della puzzola», commenta Charbonneau. «Ne basta veramente poco». Può dirlo a ragione veduta: nel 2001 Charbonneau, Brown e collaboratori tornarono a osservare HD 209458b, il pianeta di cui avevano scoperto il transito, ma questa volta non con un piccolo telescopio amatoriale, bensì con lo Hubble Space Telescope. E proprio come avevano previsto il segnale del sodio risultò ben evidente.

Eclisse totale

Gli scienziati capirono anche che c'era un secondo metodo, complementare al precedente, per studiare le atmosfere dei pianeti che effettuano transiti. Quando il pianeta passa davanti alla stella rivolge il proprio emisfero notturno verso l'osservatore; nel resto del tempo mostra almeno una parte dell'emisfero diurno e, appena prima del transito dietro la stella, l'emisfero diurno è rivolto verso la Terra. Sebbene la stella sia di gran lunga più luminosa, anche il pianeta brilla, soprattutto nell'infrarosso.

Questa luminosità nell'infrarosso scompare bruscamente quando il pianeta passa dietro la stella; il suo contributo alla luce combinata del pianeta e della stella svanisce. Se gli astrofisici possono effettuare un confronto prima e dopo, possono dedurre come apparirebbe il solo pianeta (*si veda il box nella pagina a fronte*). «Questo cambia la natura del problema», spiega Knutson. «Invece di dover rilevare un oggetto molto debole vicino a uno molto brillante, è sufficiente misurare segnali che variano nel tempo». Già nel 2001 Drake Deming, allora al Goddard Space Flight Center della NASA, osservò HD 209458b con un telescopio per l'infrarosso dalla vetta del Mauna Kea, nelle Hawaii, nel tentativo di rilevare questa cosiddetta eclisse secondaria, ma con esito negativo.

Tuttavia, come Charbonneau, anche Deming sapeva che lo Spitzer Space Telescope, il cui lancio era previsto nel 2003, sarebbe stato quasi certamente in grado di effettuare questa osservazione. Entrambi gli astrofisici, all'insaputa l'uno dell'altro, richiesero tempo di osservazione con Spitzer, lo ottennero e raccolsero dati. Deming ricorda di aver ricevuto, all'inizio del 2005, un messaggio: «Drake, sono Dave Charbonneau di Harvard. Ho sentito che hai fatto osservazioni interessanti. Magari possiamo parlarne».

Nonostante la somiglianza complessiva delle atmosfere, gli esopianeti possono essere diversi tra loro sotto diversi aspetti

Risultò che Deming (con la collaborazione di Seager) e Charbonneau avevano effettuato in modo indipendente le prime rilevazioni di eclissi secondarie, quasi nello stesso momento e usando lo stesso osservatorio. I due gruppi annunciarono simultaneamente i rispettivi risultati, relativi a oggetti differenti: il gettonatissimo HD 209458b per Deming e un pianeta denominato TrES-1 per Charbonneau. L'anno successivo il gruppo di Deming rilevò un'eclisse secondaria anche per il pianeta HD 189733b. «Questo – scrissero Seager e Deming in una *review* del 2010 – ha portato a un gran numero di osservazioni di eclissi secondarie effettuate con Spitzer. Possiamo affermare che nessuno avrebbe potuto prevedere l'entità del contributo dello Spitzer Space Telescope e il suo straordinario impatto nello studio delle atmosfere esoplanetarie». In effetti, afferma Seager, «usiamo Spitzer e Hubble in modi che non erano stati pensati e per luoghi che non erano stati progettati a raggiungere».

Strati atmosferici

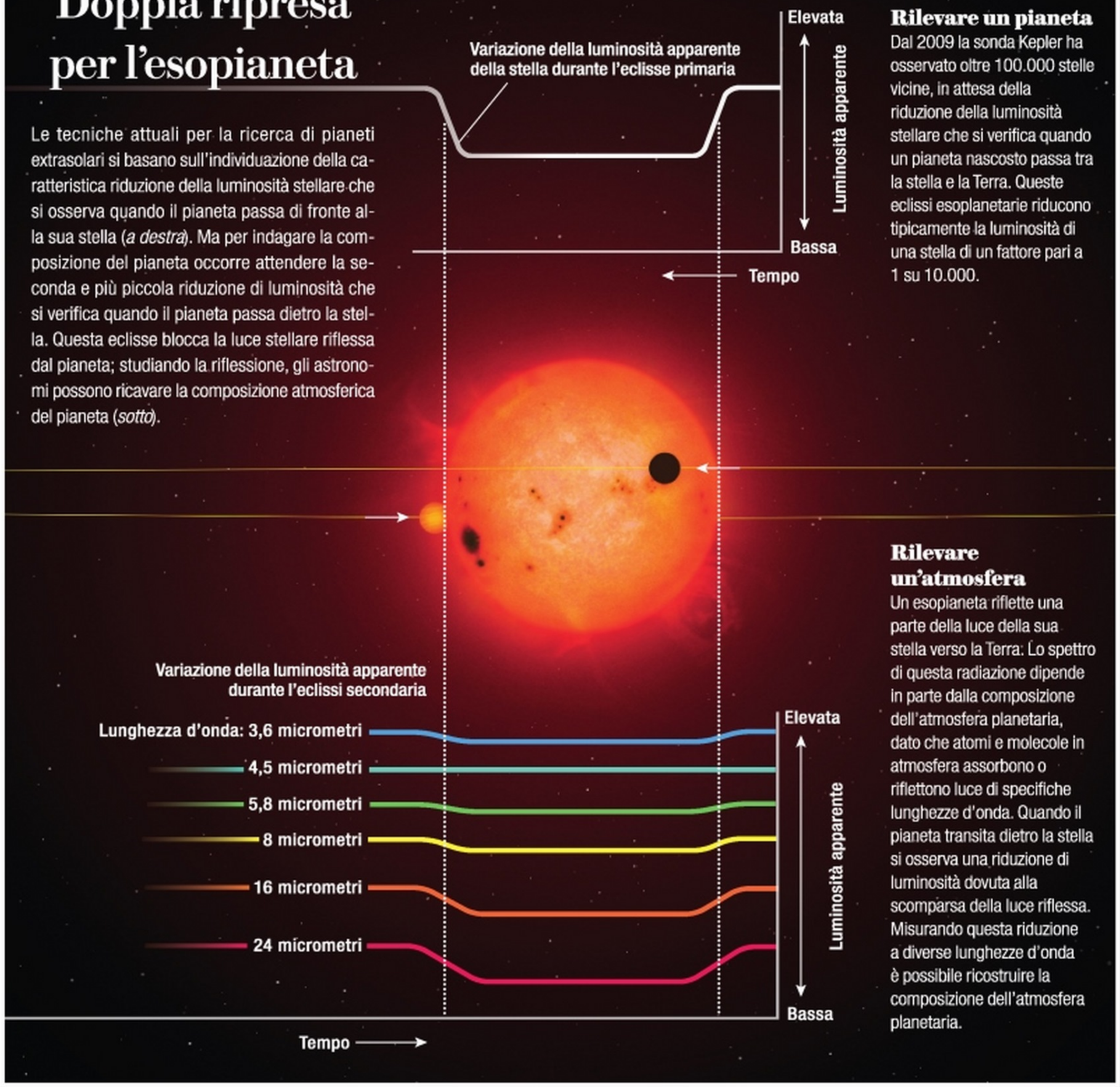
Questi studi hanno mostrato due cose, continua Seager. «In un certo senso può sembrare banale, ma abbiamo capito che i Giove caldi sono davvero caldi. Ne abbiamo misurato luminosità e temperatura, e quello che abbiamo osservato è coerente con i modelli del riscaldamento dei pianeti da parte della loro stella. Inoltre abbiamo rilevato molecole. Ora, quello che abbiamo trovato è molto differente da ciò che ci aspettavamo? Beh, non proprio». Seager spiega che è molto semplice realizzare un modello di una sfera di gas a una certa temperatura e composizione e vedere quali molecole sono sintetizzate. «Le leggi della fisica e della chimica sono universali», dice.

Seager e altri astrofisici, però, hanno anche scoperto che, nonostante la somiglianza complessiva delle atmosfere, gli esopianeti possono differire tra loro per diversi aspetti. Uno è la variazione della temperatura con l'altitudine. Alcuni esopianeti, proprio come Giove e Saturno nel sistema solare, mostrano inversioni di temperatura, cioè la temperatura aumenta anziché diminuire con l'altitudine. In altri pianeti questo fenomeno non si osserva. «Il problema – spiega Knutson – è che non sappiamo che cosa provoca l'inversione e quindi non possiamo prevedere su quali esopianeti si verifichi o meno questo fenomeno». Alcuni astrofisici hanno proposto che nei pianeti in cui si verifica un'inversione di temperatura possano esserci molecole in grado di as-

COME FUNZIONA

Doppia ripresa per l'esopianeta

Le tecniche attuali per la ricerca di pianeti extrasolari si basano sull'individuazione della caratteristica riduzione della luminosità stellare che si osserva quando il pianeta passa di fronte alla sua stella (*a destra*). Ma per indagare la composizione del pianeta occorre attendere la seconda e più piccola riduzione di luminosità che si verifica quando il pianeta passa dietro la stella. Questa eclisse blocca la luce stellare riflessa dal pianeta; studiando la riflessione, gli astronomi possono ricavare la composizione atmosferica del pianeta (*sotto*).



Rilevare un pianeta
Dal 2009 la sonda Kepler ha osservato oltre 100.000 stelle vicine, in attesa della riduzione della luminosità stellare che si verifica quando un pianeta nascosto passa tra la stella e la Terra. Queste eclissi esoplanetarie riducono tipicamente la luminosità di una stella di un fattore pari a 1 su 10.000.

Rilevare un'atmosfera
Un esopianeta riflette una parte della luce della sua stella verso la Terra: Lo spettro di questa radiazione dipende in parte dalla composizione dell'atmosfera planetaria, dato che atomi e molecole in atmosfera assorbono o riflettono luce di specifiche lunghezze d'onda. Quando il pianeta transita dietro la stella si osserva una riduzione di luminosità dovuta alla scomparsa della luce riflessa. Misurando questa riduzione a diverse lunghezze d'onda è possibile ricostruire la composizione dell'atmosfera planetaria.

Fonte: NASA/JPL/California Institute of Technology/K. Stevenson, University of Central Florida (*dati luminosità eclisse secndaria*)

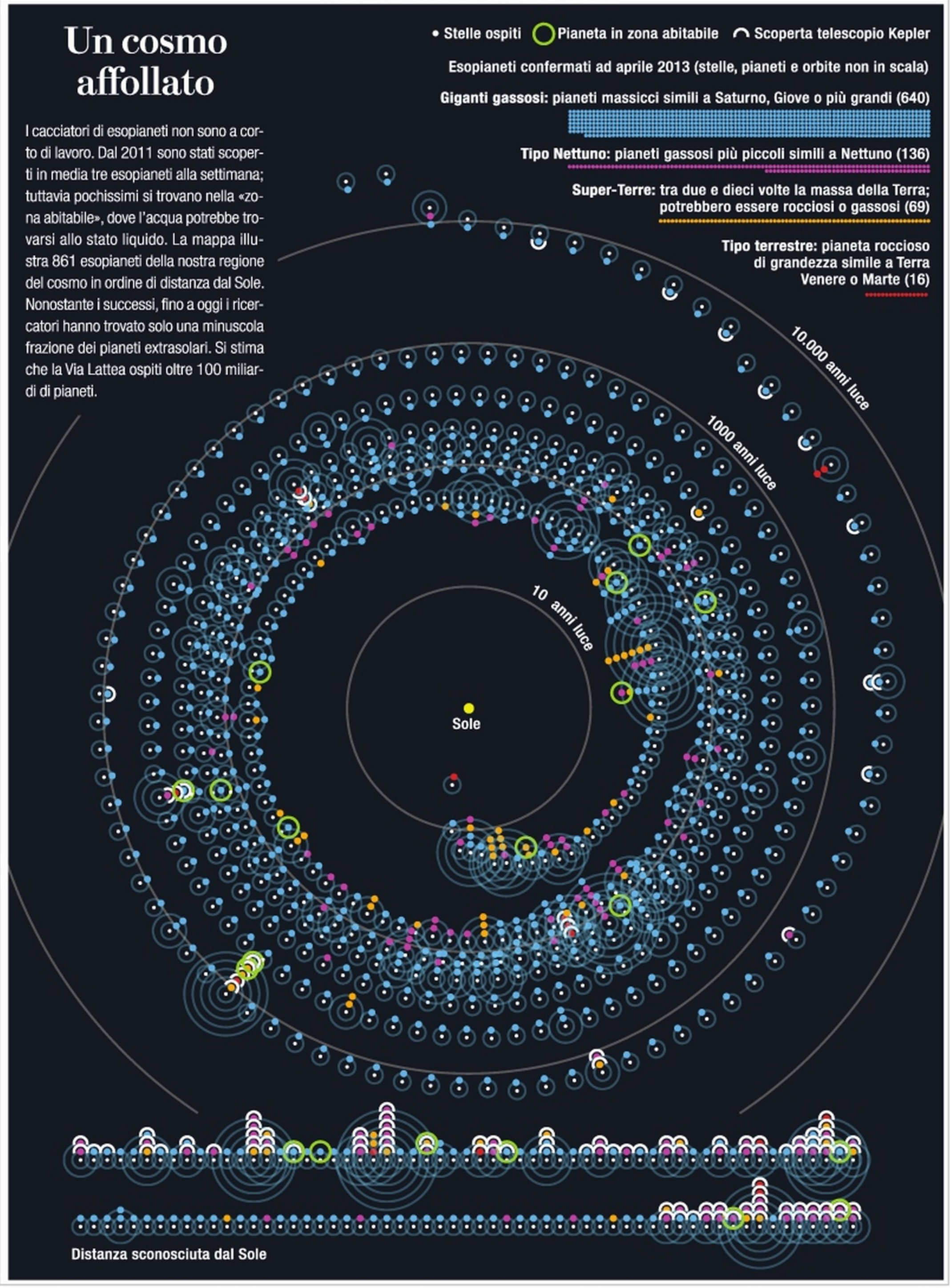
sorbire il calore, come l'ossido di titanio, ma per il momento questa è solo un'ipotesi.

Un altro quesito è se certe atmosfere esoplanetarie possano avere una composizione molecolare che le differenzia dalle altre. Nikku Madhusudhan, ora alla Yale University, ha analizzato lo spettro nel visibile e nell'infrarosso del pianeta WASP-12b e ha dedotto che l'atmosfera di questo esopianeta è insolitamente ricca di carbonio, inoltre ha scoperto che questo elemento è presente in quantità uguale a quella dell'ossigeno. Secondo la teoria, un rapporto carbonio-ossigeno superiore a 0,8, se fosse osservato anche in altri pianeti più piccoli dello stesso sistema (come è presumibile, dato che si ipotizza che i pianeti di un sistema abbiano tutti origine dallo stesso disco di gas e polvere), darebbe origine a «rocce» composte da carburi – ovvero minerali ricchi di carbonio – invece che a rocce silicatiche, a base di silicio, che abbondano nel sistema solare. Se questo fosse vero, un pianeta delle dimensioni della Terra nel sistema di WASP-12b potrebbe avere continenti di diamante.

Seager e altri hanno prodotto lavori teorici nei quali si propone che non sia da escludere l'esistenza di pianeti composti in gran parte da carbonio, o anche da ferro. Tuttavia nel caso di WASP-12b questa affermazione potrebbe non essere corretta. Knutson cita la recente scoperta di Ian Crossfield del Max-Planck-Institut für Astronomie di Heidelberg, il quale ha osservato che la luce proveniente da WASP-12b è contaminata da quella di una stella binaria di fondo, più debole. «I suoi dati potrebbero costringerci a rivedere l'interpretazione di questo specifico pianeta», conclude Knutson.

Un cosmo affollato

I cacciatori di esopianeti non sono a corto di lavoro. Dal 2011 sono stati scoperti in media tre esopianeti alla settimana; tuttavia pochissimi si trovano nella «zona abitabile», dove l'acqua potrebbe trovarsi allo stato liquido. La mappa illustra 861 esopianeti della nostra regione del cosmo in ordine di distanza dal Sole. Nonostante i successi, fino a oggi i ricercatori hanno trovato solo una minuscola frazione dei pianeti extrasolari. Si stima che la Via Lattea ospiti oltre 100 miliardi di pianeti.



Fonte dati: NASA Exoplanet Archive, http://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu

Un mondo acquatico

Le osservazioni si sono concentrate in maniera particolare sul pianeta GJ 1214b, che orbita attorno a una nana rossa del tipo spettrale M che si trova a una distanza di circa 40 anni luce dalla Terra. La sua prossimità rende GJ 1214b relativamente facile da studiare, e il suo diametro, solo 2,7 volte più grande di quello della Terra, lo avvicina molto di più a un pianeta di tipo terrestre rispetto ai Giove caldi scoperti nei primi anni delle ricerche. «Tutti lo mettono al primo posto nella classifica delle super-Terre», dichiara Laura Kreidberg, dell'Università di Chicago, che coordina l'analisi dei dati di uno di questi progetti.

GJ 1214b è stato scoperto nel 2009 nel corso del cosiddetto MEarth Project, organizzato da Charbonneau per cercare pianeti attorno a nane di tipo M. L'idea era che, per diversi motivi, fosse più facile rilevare il transito di pianeti piccoli davanti a queste stelle, deboli e di dimensioni ridotte, che non a stelle più grandi. Innanzitutto, un pianeta della grandezza della Terra intercetterebbe una percentuale relativamente elevata della luce di una stella piccola, ed eserciterebbe anche un'attrazione gravitazionale relativamente grande sulla stella, facilitando la valutazione della massa, e quindi della densità, del pianeta stesso. Inoltre la zona abitabile nel sistema di una stella piccola e relativamente fredda sarebbe molto più vicina all'astro rispetto a quella di una stella calda simile al Sole, il che renderebbe i transiti più facili da rilevare (dato che un'orbita molto stretta non deve apparire perfettamente di taglio perché il pianeta passi comunque davanti alla stella). Infine il numero di nane di tipo M nella Via Lattea è di gran lunga superiore a quello delle stelle di tipo solare: in un raggio di 30 anni luce dalla Terra, ce ne sono circa 250, in confronto a 20 stelle simili al Sole.

GJ 1214b non è affatto una seconda Terra: ha un diametro 2,7 volte maggiore ed è 6,5 volte più massiccio del nostro pianeta, quindi la sua densità è intermedia tra quella della Terra e quella di Nettuno. Purtroppo, come Charbonneau e altri hanno capito subito dopo la scoperta del pianeta, questa densità può corrispondere a diverse composizioni. GJ 1214b potrebbe avere, per esempio, un piccolo nucleo roccioso circondato da un'enorme atmosfera costituita in gran parte da idrogeno, oppure un nucleo più grande circondato da un profondo oceano d'acqua, con una sottile atmosfera ricca d'acqua. È impossibile, disponendo del solo dato di densità, distinguere tra queste due alternative, sebbene la possibilità di un mondo acquatico sia ovviamente più attraente, dato che l'acqua liquida è considerata un prerequisito, se non una garanzia, per la vita come la conosciamo.

Ma quando Jacob Bean, astronomo dell'Università di Chicago, ha osservato il pianeta a varie lunghezze d'onda, sperando di rilevare una variazione della sua grandezza apparente che indicasse lo spessore dell'atmosfera, non trovò nulla. Un'assenza che si presta a due spiegazioni alternative. Il pianeta potrebbe avere una spessa atmosfera di idrogeno, piena però di nubi e di foschia che la renderebbero difficile da rilevare. Oppure potrebbe avere un'atmosfera ricca d'acqua ma troppo sottile per essere tracciata dai telescopi a terra. La situazione potrebbe essere analoga a quando si osserva una catena montuosa da grande distanza, spiega Kreidberg, che dal 2012 collabora con Bean. «Le montagne ci sono, ma se sei troppo lontano vedi solo una linea orizzontale».

Per cercare di risolvere la questione, Bean e collaboratori hanno ottenuto tempo di osservazione pari a 60 orbite di Hubble e sono già al lavoro. Non è la prima volta che un gruppo di astronomi osserva GJ 1214b con Hubble, ma questo è il programma di gran lunga più intensivo realizzato, e sfrutterà la nuova e potente Wide Field Camera 3, installata durante l'ultima missione di servizio nel maggio 2009. Con un po' di fortuna, la campagna osservativa permetterà di capire se GJ 1214b sia o meno un mondo acquatico.

In cerca di ossigeno

Ora, dopo anni di ricerche, gli astronomi hanno iniziato a rilevare molti più pianeti con orbite di lungo periodo, cioè più lontani dalla loro stella e quindi più freddi rispetto alla popolazione iniziale di Giove caldi. «Per molto tempo abbiamo trovato solo oggetti con temperature di 1500 o 2000 kelvin, quindi molto caldi», ricorda Knutson. In queste condizioni «la maggior parte del carbonio in atmosfera si lega con l'ossigeno a formare monossido di carbonio. Ma quando si scende sotto i 1000 kelvin viene favorita la reazione in cui il carbonio è invece inglobato nel metano».

Il metano è interessante perché potrebbe essere un segno di attività biologica, sebbene ambiguo, visto che questo gas può essere sintetizzato anche in processi geofisici. L'ossigeno – specialmente l'ozono, molecola reattiva costituita da tre atomi di ossigeno – sarebbe un segnale molto più affidabile della presenza di vita. Sarebbe anche molto difficile da rilevare, dato che ha una firma spettrale poco evidente, soprattutto nell'atmosfera sottile di un pianeta di dimensioni terrestri.

Gli astronomi sono convinti che non passeranno molti anni prima che sia possibile cercare firme biologiche nell'atmosfera di pianeti gemelli della Terra

Tuttavia, nonostante l'attività che si concentra sulle super-Terre a temperatura medio-alta, gli astronomi puntano più in alto. «In realtà questo è solo un esercizio», dichiara Seager. «Certo è interessante, ma per gli scienziati come me è solo uno scalino intermedio per arrivare a studiare l'atmosfera non delle super-Terre, ma delle Terre».

È probabile che questo sarà impossibile prima del lancio del James Webb Space Telescope, probabilmente nel 2018, e dell'entrata in servizio della nuova generazione di colossali strumenti a terra, tra cui il Giant Magellan Telescope e il Thirty Meter Telescope, intorno al 2020. E anche con questi strumenti, precisa Seager, «saranno necessarie centinaia e centinaia di ore» di osservazione. Non è chiaro nemmeno se sarà possibile rilevare la firma della vita senza ambiguità; per averne la certezza potrebbe essere necessario il contributo del Terrestrial Planet Finder, i cui finanziamenti sono stati ridotti in maniera tanto drastica che la possibile data di lancio è oggi nel campo delle pure ipotesi.

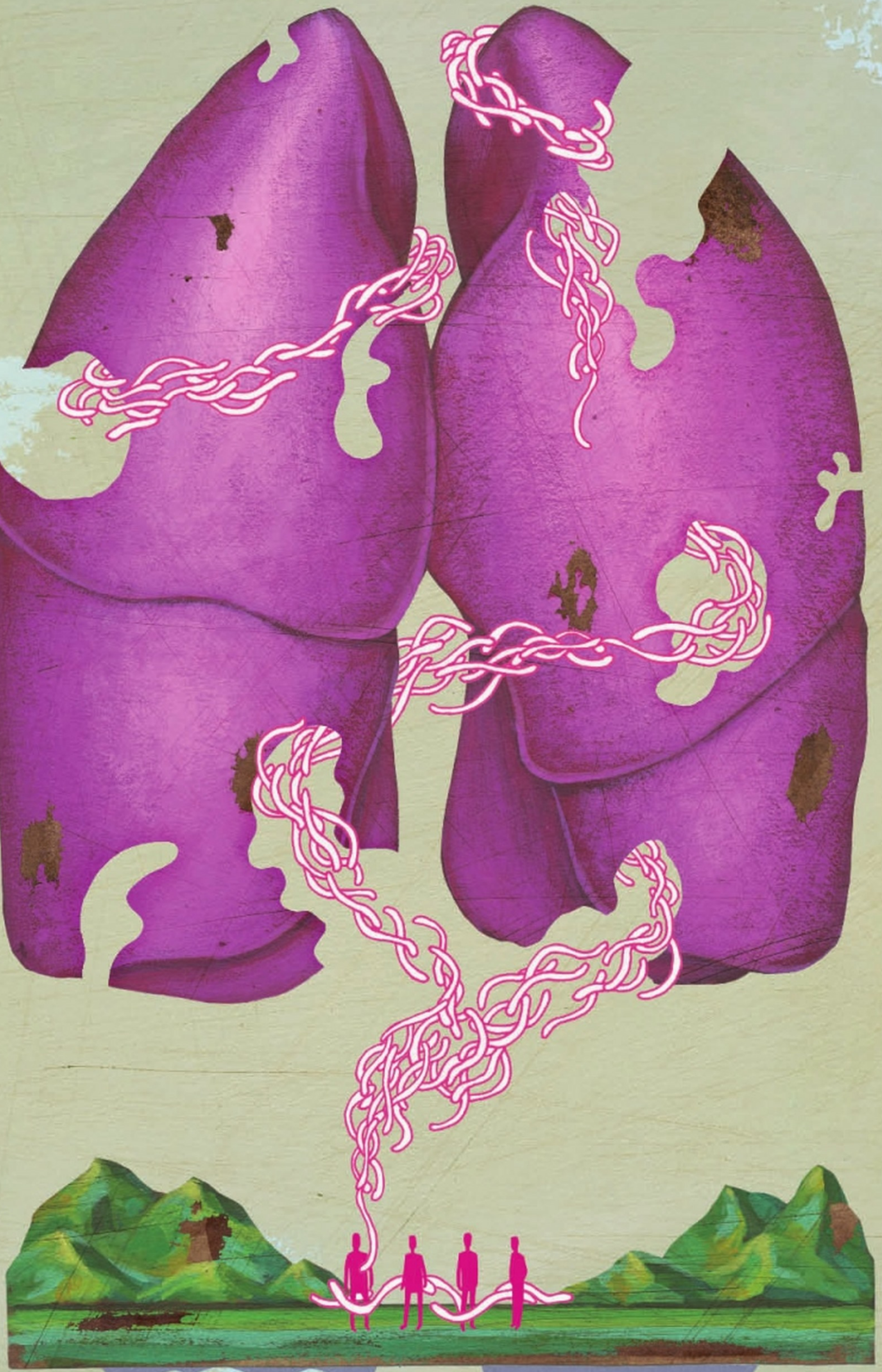
C'è però da sottolineare che, con grande anticipo rispetto ai tempi che gli astronomi sognavano negli anni novanta, Seager possa addirittura parlare della prospettiva realistica di trovare firme biologiche. Non dobbiamo più limitarci a sperare che una civiltà aliena ci scopra e invii un messaggio. Stiamo esplorando l'atmosfera di mondi lontani, scrutandone i cieli in cerca di segnali della presenza di forme di vita. ■

PER APPROFONDIRE

Nuove Terre al di là del Sole. Sasselov D.D. e Valencia D., in «Le Scienze» n. 506, ottobre 2010.

Exoplanet Atmospheres. Seager S. e Deming D., in «Annual Review of Astronomy and Astrophysics», Vol. 48, pp. 631-672, settembre 2010.

La missione Kepler alla ricerca di esopianeti: **http://kepler.nasa.gov.**



La peste del passato e del futuro

La tubercolosi sembra evolvere in maniera inaspettata, e diventare sempre più pericolosa

di Sally Lehrman

Oggi la maggior parte delle persone nei paesi ricchi del mondo pensa alla tubercolosi, se mai ci pensa, come a un fantasma del passato. Fin dall'antichità questa tenace infezione batterica ha consumato il corpo di milioni di individui ignoti, ricchi e poveri, riempiendo i loro polmoni con muco insanguinato. Anche in tempi più recenti, la tubercolosi ha continuato ad attaccare attraverso le divisioni economiche e di classe, colpendo i famosi e gli sconosciuti. Tra le vittime più note: i poeti Manuel Bandeira ed Elizabeth Barrett Browning, e lo scultore Frédéric-Auguste Bartholdi, autore della Statua della Libertà. All'inizio del XX secolo l'umanità ha iniziato a rispondere, grazie a campagne di sanità pubblica, una migliore qualità della vita e infine gli antibiotici e un vaccino di moderata efficacia. Nel 2011 la tubercolosi ha ucciso 1,4 milioni di persone e ne ha infettate 10 milioni, quasi tutti nelle regioni più povere del pianeta; tuttavia la mortalità è diminuita di oltre un terzo dal 1990. Le cose vanno per il meglio, o almeno così sembrerebbe.

Illustrazione di Daniel Chang

Sally Lehrman, giornalista, scrive di medicina e politiche della ricerca. Sta scrivendo un libro sulle diseguaglianze nel campo della sanità per Oxford University Press.

In realtà, recenti studi genetici suggeriscono che il batterio responsabile della tubercolosi sembra destinato a diventare forte e letale come mai prima, e non solo perché alcuni ceppi sono diventati resistenti ai trattamenti standard con gli antibiotici. Un piccolo ma sempre più influente gruppo di ricercatori pensa che il microrganismo, *Mycobacterium tuberculosis*, potrebbe aver intrapreso una strada evolutiva inattesa e particolarmente pericolosa. Secondo queste nuove scoperte, la tubercolosi può essere divisa in sette grandi famiglie di ceppi geneticamente imparentati tra loro: all'interno di queste famiglie, almeno un gruppo di ceppi batterici è sorprendentemente virulento, incline alla resistenza ai farmaci e particolarmente ben attrezzato per diffondere la malattia nel nostro mondo sempre più interconnesso e densamente popolato.

Allo stesso tempo gli scienziati temono che gli attuali approcci terapeutici e l'unico vaccino parzialmente efficace stiano in realtà aiutando il batterio a diventare sempre più incurabile. I medici clinici sanno da molto tempo che le terapie incomplete possono produrre ceppi di tubercolosi resistenti agli antibiotici, ma ora sembra che anche gli interventi riusciti possano essere un problema, se più efficaci nell'eliminare i gruppi di microrganismi della tubercolosi meno virulenti e a crescita più lenta. Questo effetto divergente potrebbe permettere alle famiglie di patogeni più aggressive e contagiose di diffondersi sempre di più.

Ma c'è di più: gli sforzi per sviluppare nuove terapie e test diagnostici potrebbero anche essere destinati a fallire se i ceppi usati per la ricerca non fossero quelli realmente diffusi a livello globale. Se questi timori dovessero diventare realtà, la tubercolosi potrebbe tornare a crescere e diventare più difficile da curare, propagandosi sempre di più anche tra le popolazioni fino a oggi relativamente libere da questo flagello.

Tuttavia, c'è spazio per la speranza. Grazie alla genetica abbiamo nuove informazioni necessarie per rispondere adeguatamente a questi nuovi e preoccupanti gruppi di microrganismi della tubercolosi: «Forse il nostro scopo non dovrebbe essere l'eliminazione la malattia, ma piuttosto spingerla verso una relazione simbiotica», suggerisce Clifton E. Barry III, direttore della ricerca sulla tubercolosi del National Institute of Allergy and Infectious Diseases. Invece di eliminare tutti i patogeni che causano la malattia, Barry e altri scienziati propongono che l'obiettivo dovrebbe essere favorire i batteri meno virulenti, che con maggiore probabilità rimangono silenti. Realizzare tutto con questo con successo è ovviamente un'impresa difficile e complessa.

Un'epidemia misteriosa

Le ultime scoperte sono giunte grazie alle ricerche riguardo a un'altra brutta sorpresa fatta dalla tubercolosi agli esperti di sanità pubblica, a partire dal 1986. In quell'anno le autorità sanitarie di New York vennero prese alla sprovvista da un aggressivo focolaio epidemico di tubercolosi resistente a diversi farmaci, riportato sotto controllo solo dopo circa dieci anni e spendendo centinaia di milioni di dollari, per mezzo soprattutto di una gestione rigorosa dei pazienti con la forma attiva della malattia e assicurandosi che finissero i trattamenti lunghi da sei a nove mesi con una combinazione di antibiotici. (In alcuni casi sono necessari due anni per uccidere i batteri presenti.)

A quei tempi gli addetti ai lavori erano diventati così fiduciosi nella loro capacità di controllare la tubercolosi che gran parte dei programmi di sorveglianza sulla malattia erano stati chiusi e i finanziamenti per la ricerca erano ridotti al lumicino. I National Institutes of Health avevano ridotto la spesa fino a 300.000 dollari nel 1985, e i ricercatori impegnati nello studio della tubercolosi potevano riempire sì e no un pulmino. A New York, che per oltre un secolo era stata il teatro delle peggiori devastazioni dovute alla malattia e dei maggiori sforzi di salute pubblica contro di essa, solo otto centri di terapia erano ancora aperti alla fine degli anni ottanta.

In pochi anni la costante diminuzione dei casi si fermò e, senza alcuna avvisaglia evidente, l'andamento si invertì. I farmaci standard non erano più affidabili contro l'infezione, anche nei pazienti più diligenti nel seguire le prescrizioni.

Allarmate, le autorità sanitarie considerarono tutte le possibili spiegazioni. Molti nuovi casi erano registrati in persone immigrate da poco o in pazienti con HIV, il che aveva senso. Circa un terzo della popolazione globale ospita un'infezione latente di tubercolosi, fino a quando qualcosa – uno stress o un'altra malattia – riattiva i batteri, causando l'attacco del tessuto polmonare sia da parte dei microrganismi sia da parte del sistema immunitario del paziente, dando il via alla trasmissione ad altri individui. Gli immigrati arrivavano dal Sudest asiatico, dall'Asia orientale e dal Messico, dove i tassi di tubercolosi erano dal 10 al 30 per cento più alti di quelli degli Stati Uniti. Anche l'alta incidenza nei pazienti con HIV nella metà degli anni ottanta sembrava logica perché quelle persone avevano un sistema immunitario compromesso, il che avrebbe potuto consentire all'infezione latente di diventare attiva.

Tuttavia, queste spiegazioni standard per il focolaio epidemico non rendevano conto di tutti i fatti. Questa volta la tubercolosi si espandeva tra la popolazione suscettibile di New York a una velocità mai osservata nelle due generazioni precedenti, e i pazienti morivano con un tasso molto più alto del normale. Dietro il riemergere della tubercolosi, che rapidamente iniziò a mietere vittime anche in Florida, alle Hawaii, in Texas e in California, doveva esserci qualcos'altro.

Nuove conoscenze

La risposta, almeno in parte, era nell'attività di un gruppo di ceppi di tubercolosi prima sconosciuti, più infettivi e letali rispetto al microrganismo classico, che di solito prolifera lentamente ed entra in una lunga fase di quiescenza dopo l'infezione iniziale,

IN BREVE

Ogni anno nel mondo oltre un milione di persone muore di tubercolosi, e un terzo della popolazione ha un'infezione latente.

Sempre più studi suggeriscono che la tubercolosi stia diventando più letale, più infettiva e più incline a sviluppare resistenza agli antibiotici.

Chi progetta nuove terapie dovrebbe considerare queste nuove scoperte, se non vogliamo che le cose peggiorino.

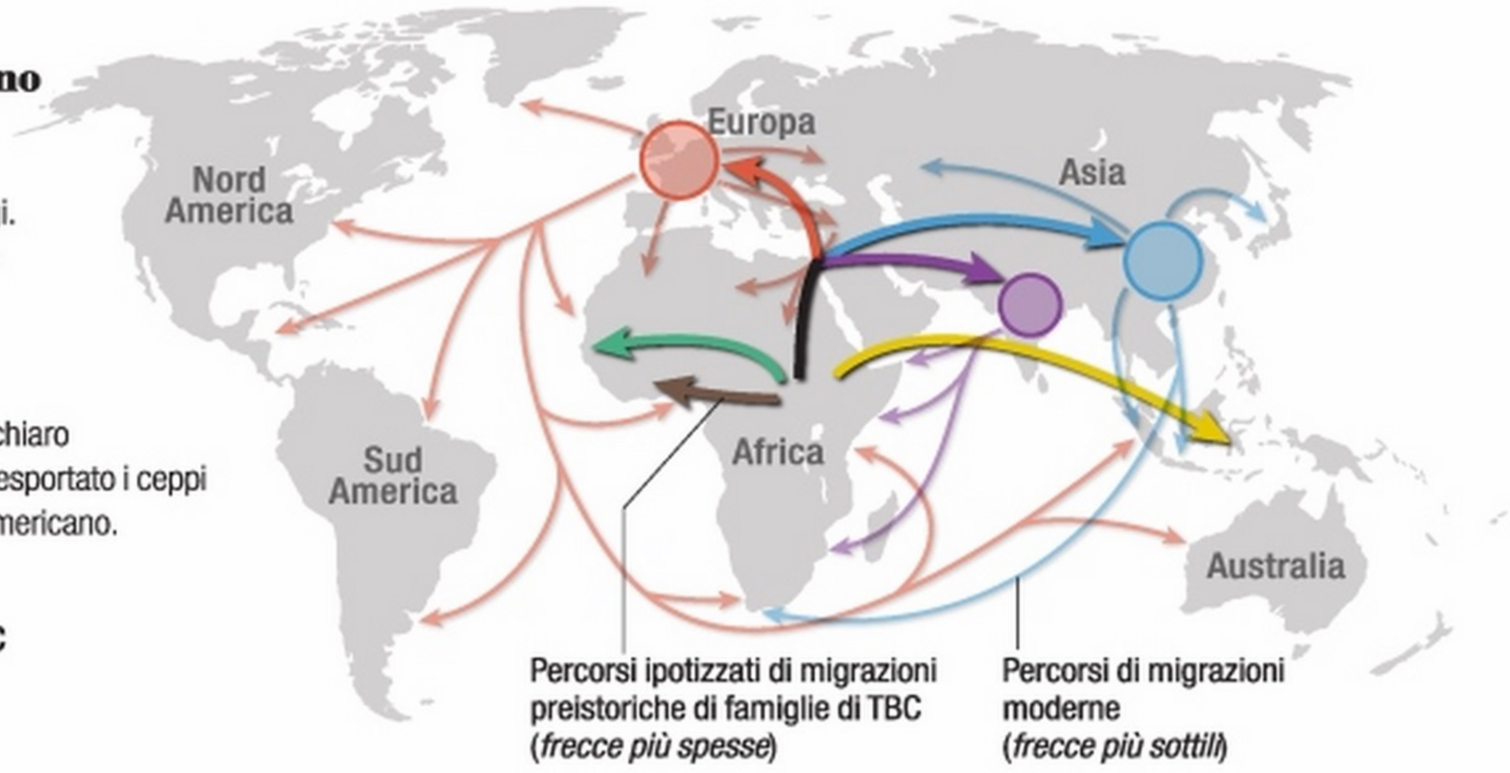
Anche cambiare l'ambiente dell'ospite, per esempio con abitazioni migliori, potrebbe dimostrarsi fondamentale.

Come la tubercolosi ha conquistato il mondo

Per molto tempo gli scienziati hanno ipotizzato che la tubercolosi (TBC) fosse emersa circa 10.000 anni fa, quando gli esseri umani hanno iniziato a domesticare il bestiame. Tuttavia, recenti analisi genetiche suggeriscono che il batterio della TBC potrebbe aver preceduto la prima grande migrazione umana, tra 60.000 e 70.000 anni fa. Con la diffusione di individui infetti in tutto il mondo, il patogeno è poi evoluto in sette famiglie o linee filogenetiche.

Dall'Africa, andata e ritorno

Le due famiglie più antiche dei germi della TBC hanno avuto origine in Africa occidentale, dove si trovano ancora oggi. Altre quattro famiglie si sono sviluppate intorno all'Oceano Indiano e in India, in Asia orientale e in Europa. Successive migrazioni hanno causato l'ulteriore diffusione della malattia. Ancora non è chiaro perché la tratta degli schiavi non abbia esportato i ceppi dell'Africa occidentale nel continente americano.



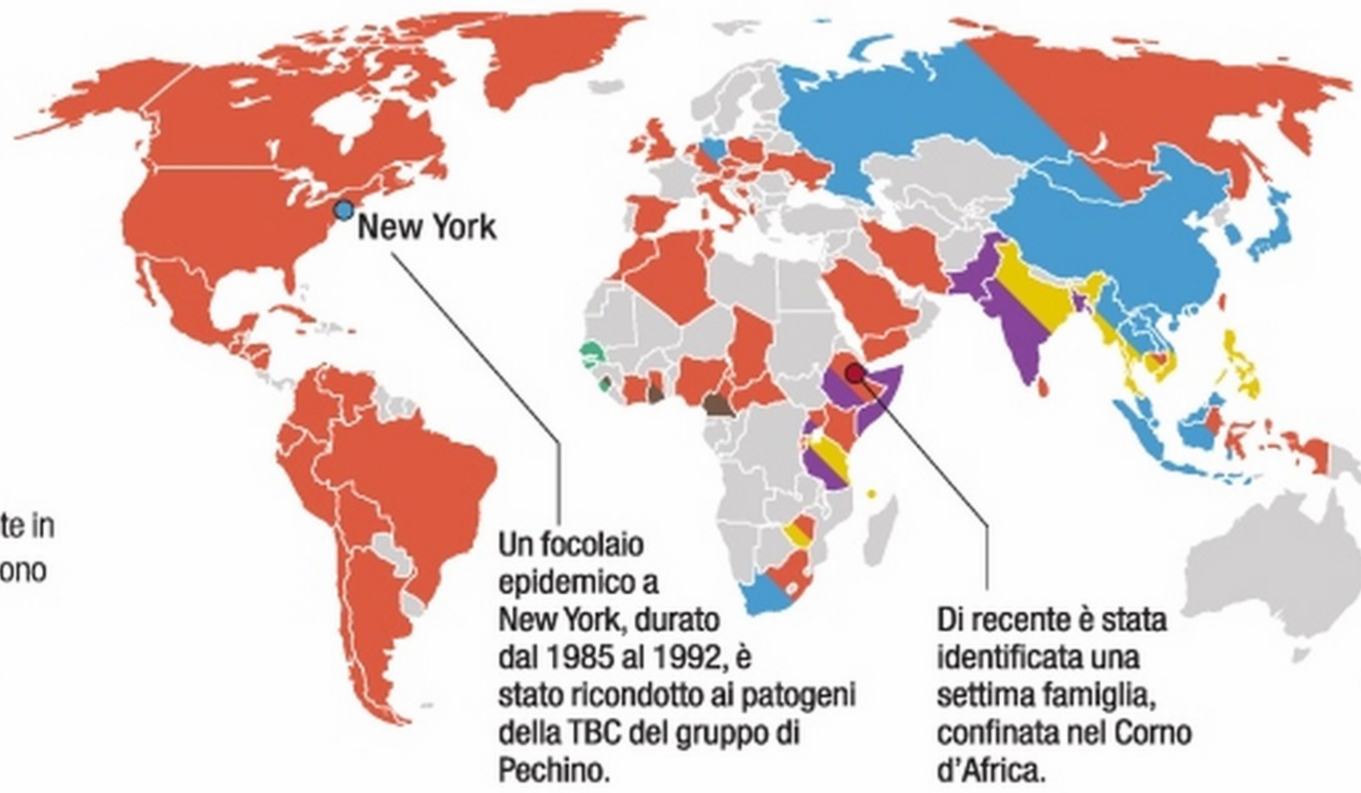
Le principali famiglie di TBC

Antiche
- Africa orientale 1
- Africa orientale 2
- Oceano Indiano
- Ipotetico antenato comune delle famiglie moderne

Moderne
- Euro–americana
- Africa orientale–indiana
- Asia orientale

Distribuzione attuale

Le diverse famiglie di TBC si diffondono a diverse velocità. L'Africa è l'unico continente in cui si trovano tutte le famiglie di TBC che sono state identificate fino a oggi. Un membro particolarmente pericoloso della famiglia dell'Asia orientale, noto come gruppo di Pechino, è ora una minaccia globale.



Fonte: *High Functional Diversity in Mycobacterium tuberculosis Driven by Genetic Drift and Human Demography*, di R. Hershberg e altri, in «PLoS Biology», Vol. 6, n. 12, 16 dicembre 2008 (*in alto*); *Variable host–pathogen compatibility in Mycobacterium tuberculosis*, di Sebastien Gagneux e altri, in «Proceedings of the National Academy of Sciences», Vol. 103, n. 8, 21 febbraio 2006 (*in basso*)

anche in casi non trattati. La reazione immunitaria dell'organismo sequestra i batteri in una cavità, e così tra i due inizia una difficile tregua che può durare per decenni.

Il nuovo e più letale gruppo di microbi della tubercolosi è oggi noto ai ricercatori come «gruppo di Pechino», perché la maggiore concentrazione di casi è stata poi rilevata nella capitale cinese, e sappiamo che è un sottoinsieme di una delle sei famiglie di batteri della tubercolosi. (Nei mesi scorsi è stata segnalata una settima famiglia, per ora rilevata solo nel Corno d'Africa.) Fino all'inizio degli anni novanta nessuno aveva capito che *M. tuberculosis* avesse diverse famiglie.

I primi indizi dell'esistenza di diversi ceppi di tubercolosi emersero nel 1991 a San Francisco, durante un focolaio epidemico in un ricovero per senzatetto e per persone con HIV. All'epoca Peter Small, oggi *senior programme officer* del programma sulla tubercolosi della Bill & Melinda Gates Foundation, era medico del San Francisco General Hospital, dove lavorava con Philip Hopewell, esperto della malattia di grande fama. Small aveva appena iniziato a seguire la diffusione di singoli ceppi di tubercolosi usando certe sequenze del loro DNA, una nuova e potente tecnica di biologia molecolare allora in fase di sviluppo. Mentre le autorità sanitarie cominciavano il sempre necessario compito di rintracciare chiunque fosse stato a contatto con una persona infetta, a Small fu assegnato il compito di identificare e seguire i batteri della tubercolosi coinvolti.

I risultati furono spaventosi: dei 14 ospiti del ricovero che si erano ammalati in quattro mesi, Small vide che 11 condividevano lo stesso ceppo di tubercolosi, che era stato identificato con l'impronta genetica (*DNA fingerprint*), un particolare schema di lettere del codice genetico specifico di quel ceppo. La presenza dello stesso ceppo significava che la malattia di quegli 11 individui derivava da un'infezione di recente trasmissione, e non dalla riattivazione di infezioni latenti (che avrebbero invece mostrato profili genetici diversi). Inoltre la progressione dall'infezione iniziale alla malattia conclamata e quindi alla trasmissione a un altro individuo era rapidissima.

«Fu un brusco risveglio», dice Small. I ricercatori si aspettavano di trovare la malattia riattivata in individui con il sistema immunitario compromesso, non nuove infezioni, e tutti erano stupiti dalla velocità del contagio da un individuo all'altro, nonché dalla rapidità della progressione della malattia. HIV e tubercolosi sembravano agire di concerto nell'attacco al sistema immunitario. Un microrganismo che passava per il suo stato latente più velocemente e che era più infettivo sarebbe stato particolarmente difficile da mettere sotto controllo e contenere.

Quando il gruppo estese lo studio per includervi gli immigrati, i ricercatori trovarono esattamente quello che si aspettavano, ma non era comunque confortante. Questa volta i test genetici mostravano che la malattia derivava, come previsto, da infezioni latenti riattivate.

Non tutti i ceppi di tubercolosi scoperti dai ricercatori si diffondevano alla stessa velocità, il che era strano, visto che tutti i ceppi si sarebbero dovuti comportare più o meno allo stesso modo. Small e colleghi trovarono l'impronta genetica del ceppo di un paziente diffusa in tutta la città, mentre quella di un altro paziente, con storia simile, non emergeva in nessun altro. «Non potevi fare a meno di pensare "forse i batteri sono diversi", e all'epoca era un'opinione piuttosto radicale», racconta Small.

Questi risultati avevano importanti implicazioni per la sanità pubblica. I medici dovevano aumentare gli sforzi per ridurre la trasmissione e assicurarsi che i pazienti completassero le terapie, ma era necessario anche ripensare l'organismo in generale, incluso il momento in cui potrebbe aver infettato per la prima volta gli esseri umani. Se tutti i ceppi di tubercolosi appartengono a una sola grande famiglia che causa la malattia nello stesso modo (come per molto tempo si è pensato), allora era plausibile un'origine relativamente recente di *M. tuberculosis*, forse 10.000 anni fa. Se, invece, si sono evolute famiglie separate di batteri della tubercolosi e si sono diffuse a diverse velocità, allora probabilmente l'organismo era in giro da molto più tempo di quanto ipotizzato, e aveva avuto tutto il tempo di diversificarsi. In effetti, nel 2005 ricercatori dell'Institut Pasteur di Parigi hanno effettuati analisi genetiche che suggerivano che *M. tuberculosis* potrebbe essersi evoluto da una specie ancestrale tre milioni di anni fa.

Nella complessa relazione tra il batterio della tubercolosi e l'organismo umano, alcuni ceppi hanno la capacità di inibire la risposta immunitaria, mentre altri la potenziano

Prove sorprendenti

L'area della baia di San Francisco si è rivelata un luogo ideale per mettere alla prova l'ipotesi secondo cui *M. tuberculosis* possa essere diviso in diverse famiglie associate a specifiche regioni geografiche. La presenza di immigrati da Africa, America Latina, Europa orientale e diverse aree dell'Asia la rende sotto molti aspetti un microcosmo globale. All'inizio del XXI secolo, un gruppo di ricercatori – molti dei quali avevano lavorato con Small e Hopewell durante il focolaio epidemico di tubercolosi che aveva colpito San Francisco – ha studiato diversi campioni prelevati da pazienti con tubercolosi e ha confrontato i marcatori molecolari nei genomi batterici.

Usando 875 ceppi raccolti tra il 1991 e il 2001 da persone provenienti da 80 paesi, molti gruppi di scienziati hanno identificato i frammenti di DNA presenti in alcuni ceppi ma assenti in altri. Sulla base di queste differenze i ricercatori hanno scoperto che i ceppi potevano essere riuniti in sei famiglie principali che erano apparentemente emerse in diverse regioni del mondo e che, sembrava inoltre, infettavano ancora le persone che vivevano in quelle regioni. C'erano tre famiglie antiche, due trovate solo in Africa occidentale e una emersa in Africa, che poi sono migrate con gli esseri umani lungo l'Oceano Indiano oltre 60.000 anni fa. Tre linee più recenti si sono sviluppate in Europa occidentale (arrivando nel continente americano alla fine del XIX secolo), India settentrionale e in Asia orientale (il «gruppo di Pechino» fa parte di questa famiglia). L'Africa sembrerebbe essere l'unico luogo dove sono presenti tutti e sei i gruppi, mentre la famiglia euro-americana è molto diffusa e il gruppo di Pechino si sta diffondendo in tutto il mondo.

Insieme al genetista di popolazione Marcus Feldman e ai suoi colleghi della Stanford University, Sebastian Gagneux, allora all'Institute for Systems Biology di Seattle, ha ricostruito la storia di ogni linea filogenetica. Confrontando le sequenze di DNA di 89 geni fondamentali (gran parte dei quali vitali per la sopravvivenza continua del batterio), Gagneux e colleghi hanno valutato età e spostamenti geografici delle diverse famiglie. I cosiddetti geni costitutivi subiscono una fortissima pressione evolutiva per rimanere come sono: i cambiamenti sono con maggiore probabilità dannosi anziché vantaggiosi per il microrganismo. Così, più i ceppi mostravano somiglianze più erano parenti stretti, e i gruppi più diversificati geneticamente appartenevano alle famiglie più antiche.

Le due famiglie africane di tubercolosi più antiche, secondo le ipotesi dei ricercatori, hanno forse iniziato a diffondersi in piccoli gruppi di cacciatori-raccoglitori. Le poche opportunità di trasmissione potrebbero aver fatto evolvere la latenza tipica della tubercolosi. In questo modo, per esempio, avrebbe potuto infettare un bambino, aspettare una generazione e riattivarsi per infettare i nuovi membri della famiglia. Con l'inizio delle migrazioni umane, il gruppo avanzava e il microrganismo lo seguiva: l'incremento della popolazione avrebbe reso possibile lo sviluppo della famiglia dell'Oceano Indiano. Ulteriori migrazioni ed espansioni di popolazioni hanno fornito terreno fertile per le tre linee più recenti, in grado di emergere e adattarsi ai loro ospiti. Con viaggi e commerci, l'affollarsi nelle città, le guerre e i decessi, il batterio ha trovato sempre buoni mezzi per diffondersi, causando la malattia sempre più spesso e in forme sempre più gravi.

L'esistenza di alcuni gruppi geneticamente diversi tra le linee filogenetiche ha fornito le prove del fatto che il micobatterio è evoluto insieme ai suoi ospiti. Sottolineandone la cauta natura ipotetica, Gagneux ha proposto una teoria «dall'Africa, andata e ritorno». Tutte le famiglie moderne sono emerse con le migrazioni che hanno portato gli esseri umani fuori dall'Africa, e poi più recentemente sono tornate in quel continente, da cui sono partite di nuovo. La famiglia di ceppi euro-americani, per esempio, ha seguito la colonizzazione di Africa, Asia e Medio Oriente. Il gruppo dell'Asia orientale si è spostato in Sudafrica grazie agli schiavi del Sudest asiatico tra il XVII e il XVIII secolo, e poi in un'altra ondata con i cercatori d'oro cinesi.

La diversificazione delle famiglie batteriche e la loro diffusione globale indicava una complessa coevoluzione tra ospite e patogeno, probabilmente ancora in corso. Ogni volta che le persone si stringono in spazi sovraffollati, i ceppi più aggressivi con mino-

re latenza si diffondono rapidamente. Allo stesso tempo i gruppi più vecchi di Africa occidentale e Oceano Indiano, che tendono a sopravvivere in aree meno popolate, causano una malattia a progressione più lenta.

«Se ci sono pochi ospiti da infettare, non è un vantaggio essere molto virulenti, perché li uccidi tutti, e quindi muori con loro», dice Gagneux, che ora dirige la ricerca sulla tubercolosi allo Swiss Tropical and Public Health Institute. Uno studio di due anni in Gambia sembra sostenere questa ipotesi: i pazienti esposti ai ceppi moderni hanno una possibilità quasi tripla di sviluppare la forma attiva della malattia. In effetti, in Africa i ceppi più aggressivi di tubercolosi hanno iniziato a sorpassare le due famiglie più antiche.

E ora che cosa accadrà?

I dati raccolti dagli anni novanta puntano al gruppo di Pechino come al problema più pressante. Sembra espandersi più facilmente e causare una malattia più grave, e potrebbe addirittura essere più abile a sviluppare resistenza agli antibiotici. Nel 1998 è stato dimostrato che i ceppi aggressivi che hanno dato il via al focolaio epidemico newyorchese degli anni ottanta e novanta facevano parte di questo gruppo.

Le condizioni ambientali in cui vivono le persone hanno un ruolo importante nel contribuire ai danni causati dalla tubercolosi. Nel 2011 Small si è trasferito in India, dove abita ancora oggi, per osservare la realtà della malattia in uno dei suoi terreni di coltura più devastanti. I batteri non si trasmettono nel vuoto, sottolinea. Gli individui infetti potrebbero essere anche denutriti, alcolizzati, o potrebbero evitare di prendere farmaci. Oltre all'HIV, anche il diabete sembra cooperare con la tubercolosi per manipolare la risposta immunitaria in modo da facilitare trasmissione e attivazione. Condizioni sociali come case affollate, bassa qualità dell'aria, fame ed esclusione peggiorano le cose.

Le condizioni ambientali e sociali in cui vivono le persone hanno un ruolo importante nel contribuire ai danni causati dalla tubercolosi in tutto il mondo

«Va sottolineata l'interazione tra batteri e ambienti umani», dice Small. Alcuni ceppi di tubercolosi tendono per esempio a provocare una forte risposta immunitaria, causando il rapido sviluppo di cavità nei polmoni e una rapida progressione dalla latenza alla malattia conclamata. Altri tendono a sopprimere il sistema immunitario, diffondendosi in organi diversi. Nella complessa relazione tra ospite e patogeno, dice Small, «alcuni ceppi sembrano molto abili nel rallentare il sistema immunitario, mentre altri sono capaci di accelerarlo».

Grazie a un dettagliato esame delle molecole genetiche in un insieme di ceppi, Small e Gagneux hanno scoperto che il batterio non ha seguito il percorso evolutivo di gran parte degli altri patogeni umani. Invece di cambiare nel tempo, il DNA che codifica per le proteine esterne del batterio (la parte riconosciuta e attaccata dal sistema immunitario) è rimasto lo stesso. Di solito, invece, i batteri patogeni sono costretti a cambiare le proteine di superficie per non correre il rischio di essere spazzati via dalle popolazioni umane nel giro di poche generazioni. Questa scoperta inattesa ha implicazioni importanti per lo sviluppo di nuovi vaccini contro la tubercolosi. I vaccini sono progettati per stimolare la risposta immunitaria dell'organismo e bloccare un'infezione. Ma questo stimolo può, al contrario, migliorare la trasmissione della tubercolosi. Una famiglia di batteri evoluta proprio per stimolare la reazione immunitaria potrebbe infatti essere aiutata, anziché repressa, da un vaccino che attiva ulteriormente il sistema immunitario.

«Di nuovo, è complicato», spiega Small. Una volta nell'organismo il germe della tubercolosi in realtà non fa molto. Sono i tentativi dell'organismo di eliminarlo a causare la maggior parte dei danni. Per esempio sono i globuli bianchi del sangue che creano le cavità nei polmoni dove viene confinato il batterio. «Quindi, aumentare la risposta immunitaria potrebbe in realtà aiutare il germe, e non l'ospite», sostiene Small. «È solo una teoria, dato che una risposta forte può anche evitare che il batterio riesca effettivamente a stabilirsi. Ma se è vero ha implicazioni importanti».

Paul Ewald, biologo evoluzionista dell'Università di Louisville, condivide le preoccupazioni di Small. Il vaccino usato oggi, che principalmente protegge i bambini dal rischio di complicazioni più gravi come la meningite da tubercolosi, ha quasi novant'anni ed è stato inoculato in un miliardo di persone. Ewald suggerisce che l'inoculazione, basata su un ceppo indebolito di un batterio imparentato che infetta i bovini, potrebbe aver inavvertitamente incoraggiato la proliferazione di ceppi più letali di *M. tuberculosis*. «È chiaro che è un organismo sofisticato che evolve con noi», dice Ewald.

Questa interazione implica che imparare a dirigere l'evoluzione della tubercolosi con terapie e strategie di sanità pubblica più sofisticate potrebbero essere d'aiuto per sconfiggerla. Abitazioni meno affollate e con migliore areazione, per esempio, potrebbero favorire ceppi meno potenti. Ma migliorare le condizioni di vita per un miliardo di persone che abitano nelle baraccopoli di tutto il mondo è molto più difficile che distribuire pillole. (D'altro canto, a New York nel 1901 l'attuazione di una legge che obbligava i condomini a migliorare l'illuminazione naturale e l'areazione dei locali aiutò a ridurre i tassi di infezione di tubercolosi prima della comparsa degli antibiotici). Gagneux prevede la necessità di cooperazione tra immunologi, ecologi, biologi evoluzionisti, genetisti di popolazione e sociologi per affrontare tutti gli aspetti della tubercolosi: diffusione dell'infezione, sviluppo della malattia e capacità di adattarsi a diversi ambienti. Sulla carta questa collaborazione sembra semplice, ma nella pratica tutto è più difficile, ammette: «Ma alla fine è ciò di cui abbiamo bisogno».

Gagneux vorrebbe che i ricercatori che sviluppano test, terapie e vaccini considerino almeno l'idea di sperimentarli su diversi ceppi di differenti parti del mondo. Oggi la maggior parte dei test è effettuata su ceppi coltivati in laboratorio da oltre sessant'anni, e potrebbe non essere più utile. Con ceppi potenzialmente resistenti ai nuovi farmaci, o capaci di nascondersi ai test diagnostici, ignorare l'albero genealogico della tubercolosi potrebbe essere una sentenza di morte per milioni di persone in tutto il mondo. ■

PER APPROFONDIRE

Worldwide Occurrence of Beijing/W Strains of Mycobacterium tuberculosis: A Systematic Review. Glynn J.R. e altri, in «Emerging Infectious Diseases», Vol. 8, n. 8, pp. 843-849, agosto 2002. Disponibile on line all'indirizzo **http://wwwnc.cdc.gov/eid/article/8/8/02-0002_article.htm**.

Host-Pathogen Coevolution in Human Tuberculosis. Gagneux S., in «Philosophical Transactions of The Royal Society B», Vol 367, n. 1590, pp. 850-859, 19 marzo 2012. Disponibile on line all'indirizzo **http://rstb.royalsocietypublishing.org/content/367/1590/850.long.**

Il senso del lutto negli animali

Sempre più indizi, riguardanti specie diverse come gatti e delfini, indicano che non siamo gli unici a soffrire per la perdita dei nostri cari

di Barbara J. King

A bordo di un battello di ricerca al largo del Golfo di Arta, in Grecia, nel 2007, Joan Gonzalvo osservava una femmina di tursiope, una specie di delfino, che stava chiaramente soffrendo. L'animale spingeva senza posa un cucciolo appena nato, quasi certamente il suo, allontanandolo dall'imbarcazione con il muso e le pinne pettorali, contro la corrente. Era come se cercasse in tutti i modi di farlo muovere, ma era inutile. Il piccolo era morto. Sotto la luce diretta del sole, il suo corpo cominciò rapidamente a corrompersi: di tanto in tanto la madre ripuliva il cadavere da pezzetti di pelle morta.

Quando la femmina di tursiope continuò a comportarsi allo stesso modo per il secondo giorno Gonzalvo e i suoi colleghi sull'imbarcazione cominciarono a preoccuparsi: oltre ad agitarsi intorno al corpicino, non stava mangiando normalmente, e questo poteva mettere a rischio la sua salute, dato l'alto metabolismo dei delfini. Altri tre delfini, dei circa 150 della popolazione della zona di Arta, si avvicinarono alla coppia, ma nessuno disturbò il comportamento della madre, né si unì a loro.

Assistendo a questi eventi, Gonzalvo, biologo marino del Tethys Research Institute di Milano, decise di non recuperare il corpo del piccolo per eseguirne l'autopsia. «Ciò che mi ha spinto a non interferire è stata una forma di rispetto», mi ha detto. «Abbiamo avuto il privilegio di essere testimoni di un chiarissimo esempio di legame tra madre e piccolo nei tursiopi, una specie che sto studiando da oltre un decennio. Mi interessava di più poter osservare questo comportamento in natura che in-

terferire e disturbare una madre ovviamente addolorata. Ciò a cui ho assistito, per me, era una forma di lutto».

Davvero mamma delfino stava soffrendo per la morte del suo piccolo? Un decennio fa avrei detto di no. Sono un'antropologa che studia cognizione ed emozioni negli animali, e avrei riconosciuto che il comportamento della madre era commovente, ma avrei resistito a interpretarlo in termini di lutto. Come per la maggior parte degli studiosi del comportamento animale, la mia formazione mi spingeva a descrivere questo genere di reazioni come «alterazioni del comportamento in risposta alla morte di un altro». Dopo tutto l'agitazione della madre avrebbe anche potuto essere dovuta allo sconcerto per lo strano stato di inerzia del suo piccolo. Tradizionalmente, proiettare emozioni umane come il dolore sugli altri animali è considerato ascientifico, un segno di mancanza di distacco.

Oggi, specialmente dopo i due anni che ho dedicato alle ricerche per il mio libro intitolato *How Animals Grieve*, penso che Gonzalvo abbia ragione nel ritenere che quella madre delfino fosse in lutto. Negli ultimi anni è emersa una grande quantità di nuove osservazioni sulle risposte degli animali alla morte, che mi hanno spinto a una sorprendente conclusione: a volte cetacei, grandi scimmie, elefanti e moltissime altre specie, inclusi gli animali d'allevamento e quelli da compagnia, possono, a seconda delle circostanze e delle loro personalità individuali, provare dolore per la morte di un parente o di un amico. Il fatto che una gamma così vasta di specie – alcune delle quali imparentate con l'uomo solo alla lontana – possa lamentare la perdita dei propri cari suggerisce che le radici della nostra capacità di soffrire per un lutto siano davvero profonde.

La definizione del dolore

Fin dai tempi di Charles Darwin gli scienziati discutono accanitamente intorno alla capacità degli animali di manifestare emozioni oltre a quelle associate alle cure parentali o comunque legate a sopravvivenza e riproduzione. Darwin pensava che, dati i legami evolutivi tra l'uomo e gli altri animali, molte emozioni dovessero essere simili fra le varie specie. Riconosceva alle scimmie, per esempio, dolore e gelosia, insieme a piacere e fastidio.

In seguito però l'attribuzione di queste emozioni agli animali ha perso progressivamente i favori della comunità scientifica. All'inizio del XX secolo regnava ormai il paradigma comportamentista, secondo cui era possibile studiare con rigore solo il comportamento osservabile degli animali, non la loro vita interiore. Un po' alla volta, però, l'accettazione delle emozioni degli animali è riapparsa nella comunità scientifica, all'inizio grazie ai resoconti provenienti dagli studi sul campo dedicati a mammiferi dal grosso cervello. Dalla Tanzania Jane Goodall riferiva, con ricchezza di commoventi dettagli, il declino e la morte per dolore di Flint, un giovane scimpanzé, nel giro di qualche settimana dalla morte della madre Flo. Dal Kenya, Cynthia Moss raccontava che gli elefanti si prendono cura dei compagni morenti e accarezzano le ossa dei parenti defunti. Biologi e antropologi impegnati sul campo hanno cominciato a chiedersi se, e quando, gli animali vivono il lutto.

Barbara J. King è professoressa di antropologia al College of William and Mary, in Virginia. I suoi studi sulle scimmie antropomorfe e su altri primati l'hanno condotta a esaminare emozione e intelligenza in un'ampia gamma di specie animali.

Per studiare e capire la sensazione di pena tra gli animali, gli scienziati hanno bisogno di una definizione che la distingua dalle altre emozioni. Parlare di «risposta animale alla morte» abbraccia ogni comportamento presentato da un individuo in seguito alla morte di un compagno, ma i ricercatori possono pensare seriamente di avere a che fare con un animale in lutto solo quando si verificano certe condizioni. In primo luogo due (o più) animali scelgono di trascorrere del tempo insieme al di là di quanto richiesto da comportamenti di sopravvivenza come la ricerca del cibo o l'accoppiamento. In secondo luogo, quando uno di essi muore il sopravvissuto altera la propria routine, magari riducendo il tempo dedicato a nutrirsi o a dormire, adottando posture o atteggiamenti facciali indicativi di depressione; o, in generale, stando poco bene. Darwin, a suo tempo, metteva insieme dolore e tristezza. Ma c'è differenza, prima di tutto in termini di intensità: l'animale in lutto è disturbato in modo più acuto, possibilmente per periodi più lunghi.

Questa definizione in due parti è imperfetta. Intanto gli scienziati non hanno scale di riferimento con cui valutare esattamente quando un disturbo possa essere considerato più acuto. Servono criteri diversi a seconda della specie? È possibile che certi animali soffrano per una perdita in modi che per noi esseri umani è difficile da riconoscere come forme di lutto? Non ci sono ancora dati per rispondere a queste domande. Inoltre non è possibile applicare il primo criterio (avere comportamenti che vanno al di là della sopravvivenza) alle madri o a chi è responsabile di dare cibo o protezione a piccoli che poi muoiono; che però sono fra i maggiori candidati cui attribuire l'esperienza del lutto.

I futuri studi sul dolore negli animali aiuteranno a migliorare questa definizione, che per ora serve comunque a far progredire la nostra capacità di valutare criticamente le reazioni degli animali alla morte di altri individui. Per esempio a volte le madri babbuino e scimpanzé nelle popolazioni selvatiche africane portano con sé il corpo del proprio cucciolo morto per giorni, settimane e anche mesi, un comportamento che potrebbe ricordare il lutto. Però non mostrano alcun segno esterno di agitazione o disagio, e continuano le normali attività, per esempio accoppiandosi, per cui il loro comportamento non risponde ai criteri che indicano il lutto.

Uno zoo di dolenti

Tuttavia, esiste un'ampia gamma di specie che esibiscono comportamenti che rispondono alla definizione del lutto; fra esse ci sono gli elefanti. Un esempio particolarmente convincente di lutto fra gli elefanti viene dal gruppo coordinato da Iain Douglas-Hamilton, dell'organizzazione Save the Elephants, che nel 2003 ha seguito le reazioni degli elefanti della riserva nazionale Samburu, in Kenya, all'agonia e alla morte di una matriarca chiama-

IN BREVE

Tradizionalmente gli studiosi del comportamento animale evitavano di attribuire emozioni tipicamente umane, come il dolore, alle risposte degli animali.

Ma una crescente massa di evidenze indica che specie che vanno dai delfini alle anatre piangono la perdita di parenti e compagni stretti.

Queste osservazioni suggeriscono che anche se i nostri modi di sentire il lutto possono essere unicamente umani, la nostra capacità di addolorarci ha profonde radici nell'evoluzione.

Pagine precedenti: Tim Flach Getty Images

Una madre delfino trasporta sulla pinna dorsale il corpo del suo piccolo morto nelle acque di Dana Point, in California.

ta Eleanor. Appena Eleanor ebbe un collasso, Grace, una matriarca di un'altra famiglia, andò immediatamente in soccorso, usando le zanne per aiutarla a rimettersi in piedi. Quando Eleanor cadde di nuovo, Grace rimase con lei, continuando a cercare di rialzarla, per almeno un'ora, benché a quel punto fosse arrivata anche la famiglia di Eleanor. Poi la matriarca morì. Nel corso della settimana successiva, femmine di cinque famiglie di elefanti, compresa quella di Eleanor, mostrarono un acuto interesse per il suo corpo. Alcune di loro sembravano turbate, e davano dei colpetti o delle spinte con la proboscide o con le zampe al cadavere, oppure si dondolavano avanti e indietro accanto a esso. Sulla base delle reazioni delle femmine (in nessun momento il cadavere fu visitato da un elefante maschio), Douglas-Hamilton concluse che gli elefanti esibiscono una cosiddetta risposta generalizzata alla morte: si addolorano non solo per la perdita dei parenti stretti ma anche di individui di altre famiglie.

Anche i cetacei sembrano esibire una risposta generalizzata di lutto. Alle Isole Canarie, nel 2001, Fabian Ritter della Mammal Encounters Education Research ha osservato una madre di steno, o delfino dai denti rugosi, spingere e recuperare il corpo del suo piccolo morto in modo molto simile a quello della madre delfino osservata da Gonzalvo ad Arta. Non era sola: in certi periodi era scortata da due adulti che nuotavano in sincronia con lei, e in altri momenti un gruppo di almeno 15 delfini modificava i suoi spostamenti per includere la madre e il piccolo morto. La perseveranza della madre fu notevole; il quinto giorno, quando cominciò a dare segni di stanchezza, gli individui che le avevano fatto da scorta si unirono a lei sostenendo il piccolo sul proprio dorso.

Comportamenti che rientrano nella definizione di lutto sono stati osservati anche nelle giraffe. Nel 2010, nella riserva Sosambu, in Kenya, una femmina di giraffa di Rothschild diede alla luce un piccolo con un piede deforme. Il piccolo camminava di meno e rimaneva più fermo degli altri nuovi nati del gruppo. Durante le sue quattro settimane di vita, Zoe Muller, biologa del Rothschild's Giraffe Project, che ha sede in Kenya, non vide mai la madre allontanarsi da lui di più di 20 metri. Nei branchi di giraffe gli individui spesso sincronizzano le proprie attività, per esempio pascolando insieme, ma la madre preferiva astenersene per rimanere accanto al piccolo, benché questo mettesse a rischio la sua incolumità.

Un giorno la Muller trovò il branco impegnato in un'attività fortemente atipica: 17 femmine, fra cui la madre del piccolo invalido, guardavano fissamente, vigili e inquiete, verso una certa parte della boscaglia. Il piccolo era morto in quel punto circa un'ora prima. Il mattino tutte e 17 le femmine mostrarono un forte interesse per il suo corpo, avvicinandosi a esso per poi ritirarsi. Giunti al pomeriggio l'attività aveva coinvolto 23 femmine e 4 individui giovani; qualcuno aveva dato qualche colpetto con il muso al cadavere. Alla sera 15 femmine adulte si raggrupparono attorno al corpo, molto più vicino che durante la giornata.

Per tutta la giornata successiva numerose giraffe adulte badarono al corpo del piccolo. Alcuni maschi adulti si avvicinarono per la prima volta a meno di 100 metri, però senza mostrare alcun interesse per il cadavere e concentrandosi invece sul pascolo o sullo stato riproduttivo delle femmine. Il terzo giorno la Muller individuò la madre giraffa, sola, sotto un albero a circa 50 metri dal punto in cui era morto il piccolo. Il corpo, però, non era più lì. Dopo averlo cercato, la Muller lo ritrovò, semi-divorato, sotto l'albero dove prima sostava la madre. Il giorno dopo ancora non c'era più, lo avevano preso le iene.

Le giraffe sono animali altamente sociali. Dopo aver tenuto nascosto il neonato più o meno per le prime quattro settimane di vita, a volte le madri creano una sorta di «asilo nido», in cui una di loro sorveglia i piccoli mentre le altre pascolano. La Muller non usa parole come «dolore» o «lutto» nel descrivere l'incidente di cui

Si ringrazia il Captain Dave's Dolphin and Whale Watching Safari, Dana Point, California. (www.dolphinsafari.com)

è stata testimone, ma si tratta comunque di un caso particolarmente istruttivo. Non solo il comportamento della madre ma anche quello di molte femmine del branco è cambiato significativamente subito dopo la morte del piccolo. Anche se è impossibile escludere spiegazioni alternative, il fatto che le femmine abbiano esibito una risposta di protezione per impedire ai predatori di portare via il piccolo rende estremamente probabile che, almeno a qualche livello, vi fosse un elemento di lutto.

Osservazioni dettagliate di popolazioni selvatiche come quelle riferite dalla Muller sono ancora piuttosto rare, per parecchie ragioni. Gli scienziati possono non trovarsi nel posto e nel momento giusto per osservare le reazioni dei sopravvissuti, e anche quando ci sono non è detto che emergano comportamenti rilevanti. Specialmente in questi stadi iniziali della ricerca sul lutto negli animali, osservazioni effettuate in riserve, zoo e persino nelle nostre stesse case possono darci indizi essenziali.

Non saprei immaginare di descrivere il comportamento di Willa, una gatta siamese, senza usare la parola «lutto». Willa ha vissuto per 14 anni con la sorella Carson a casa di Karen e Ron Flowe, in Virginia. Le sorelle si pulivano l'un l'altra, oziavano insieme nelle stanze della casa che preferivano e dormivano abbracciate. Se Carson veniva portata dal veterinario Willa si comportava in modo un po' agitato finché era riunita con la sorella. Nel 2011 un problema di salute cronico di Carson peggiorò, e i Flowe la riportarono dal veterinario, dove morì nel sonno. Dapprima Willa si comportò come faceva di solito quando la sorella era assente per un breve periodo. Dopo due o tre giorni, però, cominciò a emettere un suono inquietante, una sorta di lamento, e a cercare nei posti dove lei e Carson andavano insieme.

E anche quando questo sorprendente comportamento cominciò a svanire Willa restò abulica per mesi.

Di tutti i casi di lutto animale che ho registrato, il più sorprendente è avvenuto in una riserva naturale. Nel 2006 arrivarono al Farm Sanctuary di Watkins Glen, nello Stato di New York, tre anatre mulard. Soffrivano di lipidosi epatica, una malattia del fegato dovuta alla nutrizione forzata cui erano stati sottoposte per la produzione di *foie gras*. Due dei volatili salvati, Kohl e Harper, erano in cattivo stato, fisicamente ed emotivamente. Entrambi assai impauriti dagli esseri umani, Kohl aveva le zampe deformi e Harper era cieco da un occhio. I due strinsero una forte amicizia, che fu di reciproco sostegno e durò per quattro anni. Le anatre sono animali sociali, ma anche così l'intensità del loro legame era insolita. Quando i dolori alle gambe si intensificarono al punto da non permettergli più di camminare, Kohl fu sottoposto a eutanasia. Ad Harper fu consentito di guardare la procedura e di avvicinarsi poi al corpo dell'amico. Dopo averlo sospinto, Harper si accovacciò e posò il capo e il collo sul collo di Kohl, rimanendo fermo nella stessa posizione per alcune ore.

Harper, in realtà, non si riprese più dalla perdita. Un giorno dopo l'altro respinse l'amicizia potenziale di altre anatre, preferendo rimanere nei pressi di un piccolo stagno che frequentava con Kohl. Due mesi dopo morì anche lui.

Il continuum del dolore

Sarebbe logico supporre che le specie che hanno una durata più lunga della vita e in cui gli individui si uniscono strettamente fra loro in coppie, gruppi familiari o comunità possano soffrire per la perdita dei propri cari più facilmente rispetto alle altre. I ricercatori tuttavia non conoscono ancora abbastanza il lutto animale per sostenerlo. Bisogna mettere alla prova questa ipotesi confrontando sistematicamente le risposte alla morte in una varietà di sistemi sociali, da quelli gregari a quelli in cui gli animali si uniscono solo stagionalmente per cercare il cibo o per l'accoppiamento.

Tuttavia le differenze a livello di specie non esauriranno la questione, perché a complicare le cose ci sono le variazioni nel contesto sociale contingente e nella personalità dei singoli sopravvissuti. Per esempio, mentre a volte la pratica di consentire a un sopravvissuto di vedere il corpo, come nel caso di Harper con Kohl, sembra prevenire o ridurre il periodo di penose ricerche e vocalizzi, in altri casi sembra non servire a nulla, indicando il grado di variazione individuale nelle risposte alla morte all'interno della stessa specie.

Analogamente, le prove di dolore nelle scimmie selvatiche che vivono in gruppi sociali coesi sono finora sorprendentemente limitate, mentre in specie più solitarie, come il gatto domestico, si possono sviluppare tra due o più parenti o amici legami individuali così stretti che i loro comportamenti di lutto rivaleggiano con quelli di animali assai più sociali. La mia previsione è che le osservazioni sul campo mostreranno che, nell'ampia gamma dei sistemi sociali esistenti, qualche specie di scimmia rivelerà segni esteriori di lutto non inferiori a quelli di alcuni gatti domestici. Nel mio libro, in effetti, ho riferito esempi relativi a gatti, cani, conigli, cavalli e uccelli, oltre agli altri animali citati in queste pagine. In ognuna di queste specie ho osservato un *continuum* del dolore in cui certi individui sembrano indifferenti alla morte di un compagno e altri assai provati dalla sua perdita.

Nel mondo animale, spesso l'amore e il dolore del lutto si intrecciano in un'acuta reciprocità

Anche le differenze cognitive hanno un ruolo nel lutto animale. Così come vi sono diversi livelli di empatia espressi da specie diverse e anche dai diversi individui di una stessa specie, devono esservi diversi livelli di comprensione quando gli animali soffrono un lutto. C'è qualche animale che coglie il carattere definitivo della morte o che addirittura ne ha un concetto mentale? Semplicemente, non lo sappiamo. Nessuna evidenza fa pensare che qualche animale non umano preveda la morte come facciamo noi, una capacità che soggiace a gran parte dei nostri massimi risultati nell'arte, in letteratura, nella musica e nel teatro, e che impone alla nostra specie un pesante tributo di sofferenza.

In effetti, la capacità di soffrire per un lutto può essere davvero costosa per un animale, in termini fisici ed emotivi, soprattutto allo stato selvatico, dove comportamenti di energica vigilanza sono necessari per la ricerca del cibo, l'evitamento dei predatori e l'accoppiamento.

Ma allora come ha fatto a evolversi il lutto? Forse il ritiro dalle interazioni sociali che accompagna spesso il lutto di un animale, se non è portato all'eccesso offre un tempo di riposo, e quindi di recupero emotivo, che poi conduce a maggior successo nell'allacciare nuovi legami. Oppure, come scrive John Archer nel suo libro *The Nature of Grief*, può darsi che il costo legato al dolore del lutto sia il corrispettivo dei complessivi benefici conferiti dalle «risposte di separazione» che si presentano quando due individui fortemente legati sono costretti a separarsi. In queste circostanze i partner separati possono cercarsi l'un l'altro e quindi riuscire a riunirsi e vivere più a lungo. A offrire vantaggi adattativi, quindi,

Una femmina di gorilla tiene stretto il suo piccolo morto in uno zoo di Münster, in Germania. Questo tipo di comportamenti non è sufficiente a dimostrare che provino dolore; le madri che perdono i piccoli restano però fra i più forti candidati all'esperienza del dolore di chi sopravvive ai suoi cari.

Oliver Werner/Getty Images

potrebbe non essere il dolore in sé ma le emozioni fortemente positive vissute prima che nel quadro entri il lutto, condivise da vivi da due o più animali il cui livello di cooperazione per le esigenze dell'allevamento dei piccoli o l'acquisizione di risorse risulta rafforzato da questi sentimenti.

Il prezzo dell'amore

In questa prospettiva, potremmo collegare il dolore del lutto all'amore, e fermarci qui. Vale a dire: il dolore risulta dalla perdita della persona amata. Esplorando le emozioni in varie specie, l'ecologo ed etologo Marc Bekoff, dell'Università del Colorado a Boulder, accoglie l'idea che molti animali provino «amore» e «dolore», anche se riconosce che questi concetti sono difficili da definire con precisione. Noi esseri umani, osserva, non comprendiamo pienamente l'amore, ma non neghiamo la sua esistenza, né il suo potere nel dettare le nostre risposte emotive.

Nel suo libro *Animals Matter*, Bekoff racconta la storia di una femmina di coyote di nome Mom che ha osservato per diversi anni nel corso dei suoi studi sul comportamento di questa specie nel Parco nazionale di Grand Teton, nel Wyoming. A un certo punto Mom cominciò a fare brevi gite per conto proprio, allontanandosi dal branco. Quando tornava i suoi cuccioli le facevano le feste: la leccavano e si rotolavano con esuberanza ai suoi piedi. Poi Mom se ne andò per non tornare più. Alcuni dei coyote del branco presero a camminare avanti e indietro, irrequieti; altri andarono a cercarla, partendo nella direzione in cui si era allontanata. «Per più di una settimana è sembrato che una certa scintilla si fosse spenta», scrive Bekoff. «La famiglia sentiva la sua mancanza».

Discutendo insieme in materia di emozioni animali qualche mese fa, Bekoff ha attribuito la risposta della famiglia al suo amore per Mom. A quanto mi ha detto, la possibilità che vi sia amore, in generale, è forte in specie come i coyote, i lupi e molti uccelli, fra cui le anatre, perché entrambi i partner della coppia, maschio e femmina, difendono il territorio, nutrono e allevano i piccoli insieme, e sentono la mancanza l'uno dell'altro quando sono separati.

Nel mondo animale spesso l'amore si intreccia con il dolore del lutto in un'acuta reciprocità. Forse ancor più che il grado di coesione sociale all'interno di una specie, è l'amore fra gli individui a permettere di prevedere quando potrà essere espresso il dolore. Può esserci alcun serio dubbio sul fatto che Willa, appartenente a una specie (il gatto domestico) non certo particolarmente sociale, amasse la sorella Carson, o che abbia sofferto quando l'ha persa ed è rimasta sola?

Nella nostra specie il dolore per la perdita di una persona cara si è espresso via via in rituali sempre più simbolici. Già circa 100.000 anni fa gli antenati di *Homo sapiens* decoravano i cadaveri dei defunti con ocra rossa, un comportamento che gli archeologi interpretano come un ornamento di tipo simbolico e non funzionale. In Russia, nel sito di Sunghir, due ragazzini di meno di 13 anni, un maschio e una femmina, sono stati sepolti 24.000 anni fa con un elaborato corredo funerario, che andava dalle zanne di mammut ad animali intagliati in avorio.

Davvero stupefacenti sono le migliaia di perline d'avorio, probabilmente cucite negli abiti (da tempo disintegratisi) con cui i ragazzini sono stati sepolti. Buona parte di quell'antica comunità umana di Sunghir deve essersi unita nella preparazione di quel rito funebre (ogni perlina, da sola, deve aver richiesto almeno un'ora di fabbricazione). Certo, è rischioso proiettare le emozioni attuali sulle popolazioni del passato, ma gli esempi di emozioni animali presentati in questo articolo rafforzano un'interpretazione dell'evidenza archeologica in termini di emozioni: i nostri antenati di tanti anni fa piangevano i figli perduti.

Nel nostro mondo moderno il dolore non è più confinato inevitabilmente ai parenti, ai più stretti partner sociali o ai membri della propria comunità. Monumenti pubblici come il Parco della pace di Hiroshima, il Centro per la memoria del genocidio di Kigali, in Ruanda, il Memoriale agli ebrei assassinati d'Europa di Berlino, o quelli nel sito delle Torri Gemelle di Manhattan o presso la scuola elementare Sandy Hook di Newton, in Connecticut, trasmettono visibilmente la forza di un doloroso lutto globale. La nostra capacità, unicamente umana, di addolorarci per la morte di persone che ci sono estranee ha per base il nostro substrato evolutivo. Il nostro modo di vivere il lutto può essere unico, ma l'umana capacità di soffrirne profondamente è una cosa che condividiamo con altri animali. ■

PER APPROFONDIRE

Animals Matter: A Biologist Explains Why We Should Treat Animals with Compassion and Respect. Mark Bekoff, Shambhala, 2007.

How Animals Grieve. Barbara J. King, University of Chicago Press, 2013.

Le scuole per ciechi in India hanno aiutato a trovare bambini che potevano essere operati nell'ambito del Project Prakash.

MEDICINA

Una volta ciechi, ora in grado di vedere

Un intervento chirurgico consente a bambini indiani di vedere per la prima volta e rivela come funziona la visione nel cervello

di Pawan Sinha

IN BREVE

L'India ha una delle più grandi popolazioni di bambini ciechi del mondo, circa 400.000 secondo le stime. Molti di questi bambini non ricevono alcuna istruzione, e le ragazze sono spesso vittime di abusi fisici e sessuali.

Come neuroscienziato, l'autore ha deciso di aiutare i bambini e gli adolescenti colpiti da cataratta a riacquistare la vista ben oltre l'età in cui lo sviluppo della visione era considerato possibile.

L'intervento chirurgico ha spesso avuto successo anche sui pazienti che avevano un'età superiore ai vent'anni. Il procedimento ha anche permesso al gruppo di ricerca dell'autore di acquisire nuove conoscenze sul funzionamento del sistema visivo.

Pawan Sinha è professore di visione e neuroscienze computazionali al Massachusetts Institute of Technology. Studia il modo in cui il cervello riconosce oggetti e scene.

Mia madre teneva una piccola ciotola di vetro blu con dentro qualche spiccio vicino alla porta di casa nostra, a New Delhi. Quando usciva, prendeva alcune monete come elemosina per i poveri che inevitabilmente incontrava nelle vie della città. Considerata la velocità con la quale una persona può diventare insensibile alla quantità di miseria umana in India, ero sempre impressionato dalla sua incrollabile fedeltà a questo rituale.

La ciotola rimase inutilizzata per diversi mesi mentre mia madre combatteva la sua battaglia contro il cancro. Quando tornai in India nel 2002, un anno dopo la sua morte, notai che quello era uno dei suoi pochi oggetti conservati da mio padre. Non avevo capito che mi avrebbe cambiato la vita.

In un pomeriggio gelido durante la mia visita, mentre uscivo di casa per andare a trovare un amico, allungai una mano nella ciotola per prendere alcune monete e mettermele in tasca. Il freddo era pungente, e fui felice di trovare un taxi con i finestrini che si potevano chiudere del tutto, cosa che non era mai una certezza a New Delhi. Dopo pochi minuti il taxi si fermò a un incrocio. Il traffico era sorprendentemente scorrevole, così notai una famiglia buttata su un lato della strada. Tirai fuori di tasca le monete, abbassai il finestrino e feci loro cenno di avvicinarsi.

Lentamente si diressero verso di me, con i due bambini che si aggrappavano al *sari* della donna. Vedere quei bambini emaciati, a piedi nudi e vestiti di stracci di cotone sottile fu come ricevere un pugno nello stomaco. Con disagio ancora maggiore mi accorsi che i bambini, che dovevano avere sei o sette anni, erano anche ciechi. Mentre la famiglia stava in piedi tremante per il freddo a fianco del mio taxi, riuscii a vedere le cataratte dei piccoli. Mi stupii, perché avevo sempre osservato le cataratte solo in persone più vecchie. Il semaforo diventò verde. Misi le monete nella mano della madre e guardai la famiglia scomparire, mentre il taxi riprendeva la sua corsa. Nei giorni successivi fui perseguitato dai volti di quei bambini. Cercai di trovare il maggior numero di informazioni possibili sulla cecità infantile in India. Quello che lessi mi sconvolse.

L'India ha una delle più numerose popolazioni di bambini ciechi del mondo, circa 400.000 secondo le stime. L'handicap visivo, unito all'estrema povertà, compromette fortemente la qualità della vita dei bambini; oltre a ciò, i tassi di mortalità sono spaventosamente elevati. L'Organizzazione mondiale della Sanità stima che fino al 60 per cento dei bambini muoiono entro un anno dal momento in cui diventano ciechi. Meno del 10 per cento di questi bambini riceve un'istruzione. Per le bambine non vedenti, la prospettiva è ancora più atroce: molte di loro sono segregate in casa e subiscono abusi fisici o sessuali.

Sebbene questi numeri fossero angoscianti, divennero ancora più inquietanti quando lessi che la maggior parte delle sofferenze si sarebbero potute evitare: in quasi il 40 per cento di questi bambini la cecità poteva essere curata o prevenuta. Molti bambini, tuttavia, non ricevono cure mediche perché le strutture sanitarie sono concentrate nelle grandi città, e quasi il 70 per cento della popolazione indiana vive nei villaggi. Queste circostanze implicano che un bambino cieco di una famiglia rurale che si trovi in ristrettezze economiche sia destinato a vivere un'esistenza al buio e allo stesso tempo tragicamente breve.

Presi questi numeri con un senso di incredulità. Dopo tutto, ero cresciuto in India. Come avevo potuto ignorare questo problema? E come poteva questa realtà essere così in contrasto con la descrizione diffusa che dipinge l'India come una superpotenza economica emergente? Decisi di fare un altro viaggio. Visitai i villaggi nei dintorni di New Delhi, nello Stato meridionale dell'Andhra Pradesh e nel delta del Gange nel Bengala Occidentale. I numerosi bambini ciechi che incontrai mi convinsero che le statistiche si basavano sui fatti. E la disperata povertà che osservai in questi villaggi mi aiutò a capire il motivo per cui molti di loro rimanevano senza cure.

L'esperienza che feci durante quel pomeriggio invernale a New Delhi segnò l'inizio di un mio viaggio personale, che ancora oggi non è terminato. Come chirurgo, decisi di aiutare questi bambini ciechi a recuperare la vista. Come scienziato, capii che questo offriva una preziosa opportunità per rispondere a una delle più stimolanti domande delle neuroscienze: in che modo il cervello impara a vedere?

Pagine precedenti: Eileen Hohmuth-Lemonick

Creare un nuovo mondo visivo

Quando i bambini e i giovani del Project Prakash osservano il mondo per la prima volta, hanno difficoltà ad assemblare le parti di una scena in un tutto integrale. Una foto di ragazze che danzano fornisce un esempio dei problemi. Frammenti di colore, luminosità e di trame dei tessuti devono essere organizzati dal sistema visivo in oggetti coerenti.

L'illustrazione al centro evidenzia la posizione di questi diversi elementi. L'obiettivo di una visione efficace viene raggiunto solo quando una serie di oggetti statici, ciascuno con contorni definiti (*a destra*), comincia a muoversi. Il cervello integra i passi ritmati e le braccia alzate nella percezione di una singola, integra entità: il profilo del corpo della ballerina.

Una risposta in una domanda

Questa domanda mi aveva affascinato e al tempo stesso frustrato fin dai giorni della scuola di specializzazione al Massachusetts Institute of Technology. In che modo la confusione di colori, luminosità e strutture che colpisce la nostra retina in ogni momento della giornata riesce a organizzarsi in un significativo insieme di oggetti che si trasforma, per esempio, nei profili delle braccia e del tronco di una danzatrice e nell'intreccio di linee blu e verdi del suo gonnellino scozzese?

L'approccio principale per studiare lo sviluppo del sistema visivo coinvolge la sperimentazione con i bambini. Questo metodo ha fornito risultati preziosi, ma ha anche limiti significativi. Gli esperimenti sono difficili da realizzare. La limitata capacità di un bambino di capire e rispondere, e addirittura di rimanere sveglio a lungo, limita l'ambito delle domande che si possono fare. Un altro fattore di complicazione sono i cambiamenti simultanei che durante la crescita possono verificarsi in alcuni sottosistemi cerebrali collegati ma distinti, regioni responsabili della motivazione, dell'attenzione e del controllo dei movimenti oculari.

Cosciente di tutto questo, nell'estate 2002 mi ritrovai alle prese con due domande in apparenza non collegate tra loro. Come impara il cervello a dare un senso alle informazioni visive? E, avendo ancora impressa nella memoria la mia esperienza a New Delhi, come avrei potuto aiutare i bambini con cecità congenita a ricevere interventi chirurgici in grado di ridare la vista?

Ricordo ancora l'emozione provata quando mi resi conto che le due domande erano complementari: una conteneva la risposta per l'altra. Seguire i progressi di un bambino che aveva riacquistato la vista poteva aiutarci a capire meglio l'apprendimento visivo, e i finanziamenti scientifici richiesti per questa ricerca potevano aiutarci a fornire le cure. Mi meravigliai di quanto le due necessità fossero complementari fra loro e, un po' egoisticamente, di quanto entrambe fossero importanti per me.

Al mio ritorno al Massachusetts Institute of Technology descrissi ai colleghi un programma per portare avanti una ricerca che coniugasse questi obiettivi scientifici e umanitari. La maggior parte fu entusiasta, tuttavia alcuni espressero cautela sull'idea di lanciarsi in un'impresa tanto ambiziosa prima di aver ricevuto un incarico ufficiale. Ero consapevole del rischio, ma mi sentivo obbligato a procedere con il programma stabilito.

Chiesi un finanziamento al National Eye Institute (un centro dei National Institutes of Health). Mi preoccupava un po' il fatto che una richiesta di denaro a un'agenzia governativa statunitense per finanziare interventi chirurgici in India potesse fallire. Inoltre il tentativo era complesso dal punto di vista logistico e privo di dati riguardo alla fattibilità. Ma il comitato di revisione capì il potenziale scientifico e umanitario del progetto e mi assegnò un finanziamento esplorativo per stabilirne la fattibilità. Ero entusiasta. Era il mio primo finanziamento ottenuto dai National Institutes of Health, e rinforzava in me l'immagine della scienza statunitense come forza al servizio del bene globale, che non esita a incoraggiare imprese rischiose ed è libera da considerazioni di carattere campanilistico.

Il passo successivo fu l'identificazione di una struttura medica in India dove i bambini ciechi avrebbero potuto ricevere assistenza chirurgica di livello mondiale. Un centro oftalmico si distingueva su tutti: lo Shroff Charity Eye Hospital a New Delhi. Aveva attrezzature pediatriche eccezionali, e i suoi medici accolsero il progetto come un'opportunità per aiutare i bambini ciechi e per entrare nel mondo della ricerca.

Tutti i tasselli erano al loro posto. A questo punto avevamo bisogno di un nome che riflettesse la nostra duplice missione di riportare la luce nelle vite delle persone e di far luce sulle questioni scientifiche. Non ci pensai troppo. La parola per indicare «luce» in sanscrito, antica lingua indo-europea, è *prakash*. Ora avevamo un nome con un piacevole tocco di allitterazione: Project Prakash.

Cortesia Project Prakash

La chirurgia potrebbe aiutarci?

Dividemmo il progetto in diverse fasi. All'inizio identificammo bambini, e in alcuni casi anche giovani, che potessero beneficiare della cura, grazie a uno *screening* oftalmico nelle aree rurali. Un gruppo di optometristi, oftalmologi e altri operatori sanitari esaminarono bambini con problemi visivi (errori di rifrazione), infezioni oculari e cecità curabili (derivanti principalmente da cataratte congenite e danni corneali da ferite). I soggetti scelti per la cura andarono all'ospedale di New Delhi per ulteriori approfondimenti clinici, inclusa un'oftalmoscopia (l'osservazione del fondo dell'occhio), un'ecografia oculare con ultrasuoni e una valutazione dello stato di salute generale del bambino e dell'idoneità ad affrontare un intervento chirurgico. Le date dell'intervento furono stabilite dopo aver consultato il tutore di ciascun bambino.

La chirurgia della cataratta è molto più complessa per un bambino che per un adulto. La chirurgia pediatrica richiede un'anestesia generale e cure intensive successive all'intervento. Il protocollo chirurgico prevede la rottura del cristallino opaco e irrigidito in piccoli frammenti, la loro eliminazione attraverso una piccola incisione sul bordo della cornea e la sostituzione del cristallino naturale con uno sintetico. Il Project Prakash copre i 300 dollari di costo e i bambini tornano in ospedale per controlli periodici.

Una volta avviato il progetto venni assillato da un dubbio. Mi chiesi se il nostro intervento chirurgico, pur con le migliori intenzioni, non arrivasse troppo tardi per avere qualche possibilità di successo. Avevamo forse superato un periodo critico dell'infanzia che richiede un uso intensivo degli occhi e dei circuiti cerebrali della visione, un intervallo oltre il quale la capacità visiva non può più svilupparsi? L'idea era plausibile. Nel 1728 il chirurgo William Cheselden aveva descritto il primo caso di acquisizione tardiva della vista in un ragazzo di 13 anni nato con cataratte a entrambi gli occhi. Cheselden aveva notato che il ragazzo aveva gravi disturbi della vista anche dopo la rimozione delle occlusioni.

Studi controllati sulla deprivazione visiva in animali avevano disegnato un quadro altrettanto deprimente. Torsten Wiesel e David Hubel, premiati con il Nobel nel 1981, avevano descritto le drammatiche conseguenze di una precoce deprivazione della vista nei gatti. In questo contesto era naturale chiedersi se intervenire nella tarda infanzia avrebbe prodotto qualche effetto positivo.

Avevo però la sensazione che valesse la pena cominciare. Era rischioso cercare troppe informazioni in vecchi resoconti come quello di Cheselden. Gli scarsi risultati potevano essere dovuti a danni ai tessuti oculari, conseguenza di tecniche chirurgiche antiquate e non raffinate. Inoltre la maggior parte degli studi sugli animali aveva esaminato la suturazione di un occhio solo, mentre i bambini del progetto avevano occlusioni a entrambi. Fu sorprendente scoprire che la privazione della visione in un solo occhio ha conseguenze più dannose per la vista rispetto alla privazione in entrambi. Restava da capire se dopo un trattamento nella tarda infanzia poteva essere acquisita qualche funzione visiva.

Ora vediamo

Il grande psicologo statunitense William James descrisse il mondo percettivo di un bambino come «una confusione fiorente e rumorosa» che precede la maturazione del sistema visivo. La questione relativa al Project Prakash era se questo periodo – un bombardamento caotico di colori, forme e movimenti che forse è uno stadio iniziale essenziale dello sviluppo visivo – riflette le esperienze dei partecipanti al progetto, alcuni dei quali sono ventenni quando acquistano la vista per la prima volta. Il loro sistema visivo sperimenta i primi stadi anarchici ma necessari per organizzare le immagini in un qualsiasi modo che abbia significato? In questo caso la parola «organizzazione» ha due significati. Per una persona, «vedere» significa che i vari pezzi di un'immagine devono aderire tra loro formando oggetti distinti, seguendo un processo chiamato organizzazione intramodale. Il secondo requisito, l'organizzazione intermodale, coinvolge l'interazione della visione con gli altri sensi.

La nostra capacità di dividere un'immagine in oggetti separati è così affinata da sembrare priva di sforzo. Apriamo gli occhi e il mondo va a posto, diventando un'ordinata collezione di oggetti. Eppure abbiamo scoperto che per un bambino del Project Prakash l'esperienza è diversa. Quelli che riacquistano la vista hanno gravi impedimenti. Non sono in grado di organizzare le numerose aree di colore e luminosità diversi in strutture più grandi. Molte caratteristiche di oggetti comuni, le sezioni sovrapposte di due quadrati o la sezione di una palla delineata dalle cuciture sulla sua superficie vengono percepite come oggetti distinti, non come parti di strutture più complesse. È come se la scena, per una persona che riacquista la vista, fosse costituita da un mosaico di numerose aree colorate e luminose non collegate fra loro, simile a un dipinto astratto. Questa sovraframmentazione percettiva rende difficile percepire interi oggetti.

Il Project Prakash aiuta a capire che cosa è possibile ottenere o meno quando un bambino acquista la vista nella tarda infanzia

Le difficoltà incontrate dai pazienti del Project Prakash sollevano nuovamente una questione che ha assillato gli scienziati da un quasi un secolo: quali segnali ci consentono, da individui con una visione normale, di elaborare correttamente immagini complesse? La risposta sembra sia nel modo in cui il cervello organizza i segnali visivi nei cosiddetti raggruppamenti euristici (con riferimento ai principi della Gestalt, scuola psicologica nata all'inizio del XX secolo, per il raggruppamento). Per esempio, una regola di base programmata nel sistema visivo fa sì che le linee allineate di un'immagine siano raggruppate insieme, visto che molto probabilmente emergono dai margini dello stesso oggetto.

Nessuna di queste regole sembra valere per i bambini del progetto nel periodo immediatamente successivo all'acquisizione della vista, ma con il passare del tempo si verificano cambiamenti interessanti. Ho un ricordo assai vivido di SK, il primo paziente del progetto che ci ha fornito questo indizio. Era un giovane di 29 anni che avevamo incontrato in un fatiscente casa d'accoglienza per giovani non vedenti nei sobborghi di New Delhi. Un rapido esame mostrò che soffriva di afachia congenita (dal greco *phakos*, lente), una rara malattia in cui i bambini nascono senza il cristallino. L'universo visivo di SK era pesantemente degradato, assai peggiore di quello che negli Stati Uniti definisce la cecità del punto

di vista legale. Il ragazzo si era adattato a camminare con un bastone bianco e a studiare in braille. Tutto ciò che serviva per correggere l'afachia era un paio di occhiali da 20 dollari, che avrebbero compensato la mancanza delle sue lenti naturali: occhiali che SK non poteva permettersi.

Comprammo gli occhiali per SK e poi testammo la sua vista. Quello che subito ci colpì era l'opposto di quello che ingenuamente ci aspettavamo: SK non sembrava particolarmente eccitato per la sua nuova capacità visiva. Come rivelarono i test, il suo mondo visivo era un insieme sconcertante di regioni con colori e luminosità differenti, con pochi elementi per unirli e farne entità coerenti. Addirittura disegni semplici, come un cerchio sovrapposto a un quadrato, gli apparivano come un insieme di pezzi collegati fra loro in modo bizzarro (nonostante gli fossero familiari i concetti di quadrato e cerchio, appresi con il tatto). SK aveva difficoltà a percepire oggetti interi nelle immagini. Sfumature e ombre, sovrapposizioni e occlusioni erano ostacoli insormontabili. Ogni regione dotata di sfumatura di colore differente o di luminosità diversa gli appariva come un oggetto distinto.

La cosa interessante era che questo insieme confuso di regioni prendeva forma in una struttura dotata di significato con l'introduzione di un particolare indizio visivo: il movimento. Immagini che a SK apparivano confuse se visualizzate in forma statica acquisivano un significato quando le singole componenti erano in movimento. I video che riprendevano SK mentre esaminava un'immagine mostravano una trasformazione quasi magica in risposta al movimento.

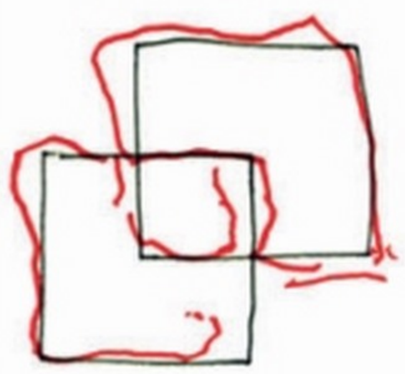
Seguimmo SK per diversi mesi, e il giovane continuava ad avere difficoltà nell'interpretazione di immagini statiche. Proprio mentre ci eravamo rassegnati all'idea che le capacità di analisi potessero essere compromesse in modo permanente, le cose cambiarono. Un anno e mezzo dopo l'intervento, senza alcuna altra riabilitazione che non fosse l'esposizione al mondo che lo circondava, SK fece miglioramenti significativi. Era in grado di correggere l'analisi di immagini statiche, e addirittura mostrava gioia per questi progressi. Era la gratificante conclusione di un capitolo che ci aveva tenuti per lungo tempo con il fiato sospeso.

In studi successivi, effettuati con pazienti molto più giovani di SK, trovammo una sintesi della sua esperienza. Molti mesi dopo aver sperimentato difficoltà nell'analisi delle immagini, queste persone iniziavano a organizzare le proprie percezioni trasformandole in oggetti coerenti. Il tempo necessario ad acquisire questa capacità sembra dipendere dall'età in cui il bambino ha ricevuto la cura, dato che ragazzi più piccoli imparano più rapidamente di quelli più grandi.

A PRIMA VISTA

Solo le parti, non il tutto

I ricalchi di un bambino che ha riacquistato la vista rivelano una visione frammentaria anche delle figure bidimensionali. Ciascuna area delle due scatole sovrapposte veniva percepita separatamente, come indicato dagli scarabocchi rossi. Il bambino vedeva anche i segmenti di una mucca, di una palla e la sua ombra, tutti disegnati in verde, come oggetti distinti. Di conseguenza non era in grado di identificare nessuna di queste immagini.



Cortesia Project Prakash

Qual è il motivo di questo miglioramento? La teoria suggerisce che il movimento possa svolgere la parte di un «insegnante», addestrando il sistema visivo ad analizzare le immagini anche quando queste siano statiche. Seguendo la regola per cui «cose che si muovono assieme appartengono allo stesso oggetto», alla fine il sistema visivo può imparare a raggruppare immagini sfruttando caratteristiche statiche come colore od orientamento.

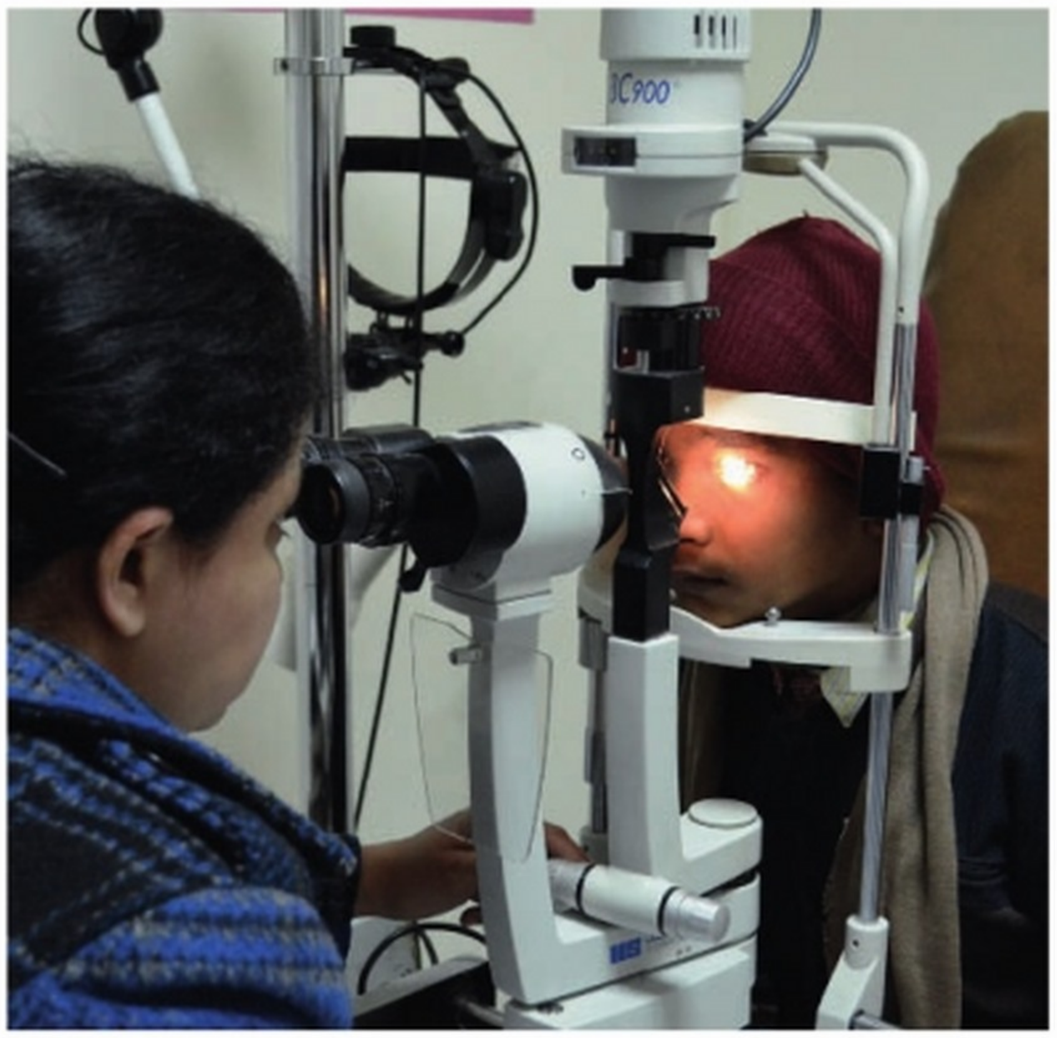
Naturalmente il cervello fa molto più che selezionare gli elementi di una scena. Collega fra loro anche i mondi di suono, tatto, gusto e olfatto, creando un panorama sensoriale mediante un'organizzazione intermodale. Il legame tra vista e altri sensi ha assillato per secoli filosofi e neuroscienziati. Nel 1688 lo scienziato irlandese William Molyneux scrisse al filosofo britannico John Locke: «Immagina un uomo nato cieco, che ora sia diventato adulto, e che abbia imparato a distinguere un cubo e una sfera dello stesso metallo mediante il tatto... Immagina poi che il cubo e la sfera siano collocati su un tavolo, e che all'uomo un tempo cieco sia concesso di vedere: domandati se mediante la vista, prima che l'uomo li tocchi, possa ora distinguerli e dire quale sia la sfera e quale il cubo?».

Locke incluse il quesito di Molyneux nell'edizione del 1692 del suo famoso *Saggio sull'intelletto umano*. La domanda di Molyneux definì una serie di altre domande di fondamentale importanza, vale a dire: come colleghiamo i diversi sensi in una percezione unificata della realtà? Siamo nati con questa mappatura mentale del mondo o dobbiamo acquisirla tramite l'esperienza? Può essere acquisita quando si è grandi? La prosecuzione di queste idee di Locke, George Berkeley, David Hume e altri empiristi è rilevante in molte questioni vitali per le neuroscienze dei giorni nostri.

Nel verificare se i bambini del Project Prakash sono in grado di effettuare associazioni fra vista e altri sensi, abbiamo avuto un'opportunità per rispondere direttamente alla domanda di Molyneaux. Lavoriamo con i bambini subito dopo l'operazione agli occhi, e li facciamo partecipare a un esperimento in cui devono trovare forme coincidenti. Il bambino vede o tocca un oggetto semplice su uno sfondo bianco e poi deve sceglierlo da una coppia di oggetti differenti che vengono presentati visivamente o in modo tattile. Un esempio esplicativo riguarda il caso di YS, un bambino di otto anni con cataratta congenita densa a entrambi gli occhi. Come molti dei bambini del Project Prakash, YS si sentiva bene già il secondo giorno dopo l'intervento ed era pronto per lavorare con il gruppo di ricerca.

Nel test, un foglio impediva a YS di vedere le mani. Il bambino riceveva un oggetto (il campione) che doveva toccare con le ma-

Primo controllo: le attività di screening nelle scuole e nei villaggi identificano i bambini che potrebbero trarre benefici da operazioni chirurgiche agli occhi.



Preparazione: una bambina si sottopone a un esame oftalmologico per determinare ulteriormente l'opportunità di ricorrere all'intervento.

ni e restituire. Poi riceveva il campione e un altro oggetto, e doveva restituire il primo. YS non aveva problemi nell'individuare il campione fra tutte le coppie di oggetti che gli venivano presentate. Allo stesso modo, nel dominio puramente visivo, la sua capacità era perfetta. Tuttavia nel compito cruciale di trasferimento, quando si trattava di riconoscere visivamente quello che aveva toccato con le mani, la sua abilità precipitava. Altri quattro bambini con cui lavoravamo mostravano lo stesso andamento di risultati.

Queste scoperte ci hanno portato a ritenere che molto probabilmente la risposta alla domanda di Molyneaux sia negativa: subito dopo l'acquisizione della visione non si verifica alcun percepibile trasferimento di informazione dal tatto alla vista. Sebbene questo risultato sembri interessante, c'è forse un'appendice ancora più affascinante.

Quando dopo una settimana abbiamo sottoposto nuovamente YS al test, siamo rimasti sbalorditi nello scoprire che la sua abilità nel compito del trasferimento era passata da un livello non migliore di quello che sarebbe stato previsto dal caso a un livello che sfiorava la perfezione. Anche altri due bambini che seguivamo mostravano progressi simili. In un breve arco di tempo, alcune settimane, i bambini iniziavano a diventare efficienti nell'identificare visivamente un oggetto che avevano solo percepito con il tatto, suggerendo una capacità latente di imparare rapidamente ad associare sensi differenti. Questi studi suggeriscono che molti anni di cecità congenita non precludono lo sviluppo di sofisticate abilità visive in età relativamente avanzata, una constatazione che per tutti noi è una buona notizia dal punto di vista sia scientifico sia clinico. In effetti conferma l'esistenza di una plasticità neurale, ovvero la capacità del sistema visivo, per esempio, di adattarsi a nuove esperienze, addirittura nella tarda infanzia o appena adulti e, sulla base delle nostre esperienze, suggerisce che i bambini potrebbero trarre beneficio dalla chirurgia oculare.

Queste conoscenze hanno posto le fondamenta per un'incessante programma di ricerca sullo sviluppo visivo nella tarda infanzia. Lavorando con i partecipanti al Project Prakash di età compresa fra sei e oltre vent'anni, abbiamo valutato un'ampia gamma di funzioni visive. Fino a oggi le scoperte effettuate grazie a questi test indicano che alcuni aspetti chiave della visione, come l'acuità (livello di definizione con cui è possibile risolvere un certo schema visivo), il contrasto spaziale (cambiamenti nell'acuità quali cambiamenti di contrasto dell'immagine) e la stabilità ottica, sono compromessi da una deprivazione prolungata. Questi deficit sembrano permanenti, dato che i risultati dei test non raggiungono livelli normali neppure dopo un anno.

Tuttavia quando guardiamo oltre queste misurazioni di base ed esaminiamo le cosiddette funzioni visive di ordine superiore, scopriamo anche prove di una significativa acquisizione di capacità; in particolare l'abilità di distinguere oggetti in un'immagine e collegarli con gli altri sensi. I bambini del Project Prakash mostrano anche progressi nella capacità di individuare i volti e di ragionare mentalmente sulla disposizione spaziale degli oggetti che osservano.

Il nuovo panorama

Queste scoperte iniziano a darci la misura di quello che può e non può essere ottenuto quando un bambino acquista la vista nella tarda infanzia. Da un lato, le funzioni visive non si indeboliscono irreparabilmente se gli occhi e le aree cerebrali responsabili dell'elaborazione visiva non sono usati in modo intenso durante il «periodo critico», che si ritiene duri per i primi anni dell'infanzia. Dall'altro lato, un'esperienza visiva precoce è innegabilmente importante per il normale sviluppo di capacità quali la visione ad alta risoluzione.

I primi risultati forniscono un trampolino di lancio per un ricco insieme di nuove ricerche, alcune delle quali possono essere abbastanza distanti dalla cecità. Sulla base degli studi di Prakash, stiamo sviluppando un programma per scoprire automaticamente categorie di oggetti visivi in video: volti, per esempio. Inoltre il tipo

Cortesia Project Prakash

Durante l'intervento: un chirurgo asporta con cautela la cataratta, permettendo così a un bambino di vedere chiaramente per la prima volta dal giorno della sua nascita.

Fatti per vedere: una ragazza si sottopone a un esame post-operatorio con un optometrista, per ricevere una prescrizione per occhiali da vista.

di deficit che abbiamo trovato nei bambini integrando informazioni visive subito dopo il recupero della vista mostra somiglianze con quelli riferiti da studi effettuati su bambini autistici. Questo legame incerto si è ora tradotto in una serie di ricerche nel mio laboratorio che cercano di indagare le cause dei disordini di elaborazione sensoriale nell'autismo.

Il viaggio che ci attende promette di essere addirittura più stimolante della strada che abbiamo percorso fino a oggi. Una questione su cui ci siamo concentrati di recente riguarda il rapporto fra strutture cerebrali e funzionamento del cervello. Vogliamo usare la risonanza magnetica funzionale per osservare i cambiamenti che si verificano nella corteccia cerebrale di un bambino che ha appena riacquistato la vista per confrontarli con quello che succede quando la cura inizia a età diverse e determinare fino a quando, nel corso della vita, si può recuperare la vista. Potremmo anche riuscire a determinare, nei casi in cui l'operazione è fatta relativamente tardi, se altri sensi – il tatto o l'udito, per esempio – possono aver dirottato l'area corticale solitamente riservata all'elaborazione visiva.

Il Project Prakash ha di fronte a sé grandi sfide, le più importanti delle quali sono una maggiore comunicazione mirata a condividere esperienze e conoscenza scientifica verso la società nel suo insieme, l'espansione dei programmi di cura e l'integrazione del bambino nella società. I nostri piani per affrontare queste sfide sono ambiziosi: proponiamo di iniziare allestendo il Prakash Center for Children, una struttura in cui cure mediche, istruzione e ricerca siano integrati. Il centro avrà un ospedale pediatrico, un centro all'avanguardia di ricerche in neuroscienze e una clinica di riabilitazione e istruzione per bambini appena curati, per consentire loro di ricevere i massimi benefici dall'operazione.

Fino a oggi lo sforzo nell'ambito dell'outreach ha garantito lo screening oftalmologico a più di 40.000 bambini che vivono in alcuni dei villaggi più poveri e più trascurati del nord dell'India. Più di 450 bambini con danni alla vista sono stati operati e hanno ricevuto successivi controlli post-operatori, e oltre 1400 hanno ricevuto cure farmacologiche e per la salute degli occhi. Considerata la dimensione del problema, però, è solo l'inizio.

Le scoperte fatte nel corso del Project Prakash sono fonte di soddisfazione enorme per me e per i miei ricercatori, ma anche il lavoro ha influito su di noi, e a un livello più profondo e personale. Ogni bambino cieco con il quale abbiamo lavorato ha raccontato una storia unica di sofferenze e isolamento sociale. Altrettanto unico è il cambiamento che la vita di ciascun bambino sperimenta dopo la cura. SK è tornato nel proprio Stato di origine, con la rinnovata speranza di raggiungere il proprio obiettivo: diventare insegnante. JA, che era stato curato all'età di 14 anni, oggi, sei anni dopo, può camminare nel traffico di New Delhi per conto proprio.

La madre di tre bambini, tutti nati con cataratta e tutti curati lo scorso anno dal progetto, non è più schernita dai vicini del suo villaggio come portatrice di una maledizione. Dopo aver sopportato più di otto anni di cecità congenita, due fratelli che hanno iniziato a vedere solo da pochi mesi oggi sono elettrizzati dalla prospettiva di trasferirsi a scuola con altri bambini che non hanno problemi di vista.

Queste trasformazioni testimoniano quello che può succedere quando l'ingegnosità di scienziati, medici, educatori e di uno sponsor internazionale collaborano a un progetto di ricerca comune. E io personalmente, è ovvio, ho un debito di gratitudine verso una ciotola di vetro blu e una persona molto speciale alla quale quella ciotola apparteneva. ■

PER APPROFONDIRE

Pawan Sinha on How Brains Learn to See. TED, novembre 2009. **www.ted.com/talks/pawan_sinha_on_how_brains_learn_to_see.html.**

The Newly Sighted Fail to Match Seen with Felt. Held R.e altri, in «Nature Neuroscience», Vol. 14, n. 5, pp. 551-553, maggio 2011.

Sito web del Project Prakash: **www.projectprakash.org.**

FISICA

Muri d'acqua

Le correnti oceaniche e altri fenomeni caotici sono ritenuti imprevedibili. Ma i matematici stanno trovando un senso nella follia della natura

Illustrazione di Andrew Bannecker

di Dana Mackenzie

Lungo tutto il Golfo del Messico, quella del 2010 è stata l'estate dell'Oil Spill. Mentre il petrolio usciva dal pozzo Deepwater Horizon della BP al largo della Louisiana, i turisti si tenevano lontani dalle coste del golfo, convinti dai mezzi di comunicazione che il petrolio stesse arrivando a riva o vi sarebbe arrivato a breve. In luoghi lontani come Fort Myers e Key Largo, in Florida, le spiagge erano deserte e gli alberghi in crisi.

In realtà la situazione non è mai stata così terribile, specialmente sulla costa occidentale della Florida. Durante la perdita di petrolio questa parte del golfo era protetta da una divisione invisibile ma resistente. Sotto la placca continentale al largo della Florida c'era una linea non visibile che impediva al petrolio di diffondersi verso est. Non si trattava di un oggetto solido, ma di un muro d'acqua che si spostava con le correnti oceaniche. Questo muro però è stato efficace quanto una diga o una barriera di contenimento.

Gli scienziati chiamano questi muri invisibili «barriere di trasporto»; sono l'equivalente marino degli spartiacque continentali. Separano l'acqua che fluisce in una direzione da quella che scorre nell'altra. In un oceano caotico forniscono una mappa che ci mostra la direzione del traffico. Spesso sembra che le correnti d'acqua siano quasi del tutto imprevedibili, ma le barriere di trasporto ristabiliscono un ordine e strutturano il flusso caotico.

Negli ultimi anni lo studio di queste strutture è fiorito, ma la loro importanza non è ancora pienamente riconosciuta dalla comunità scientifica. Tuttavia i ricercatori hanno già dimostrato che i loro studi potrebbero aiutare a spiegare perché il petrolio versato nel golfo è sparito più velocemente di quanto ci si aspettasse e perché non è arrivato nell'Oceano Atlantico passando dallo Stretto della Florida. In futuro capire questi flussi potrebbe rendere più efficienti le attività di bonifica in caso di disastri. Le ricerche potrebbero chiarire anche il modo in cui il flusso del sangue influisce sulla formazione di placche nelle arterie e aiutare a prevedere come le spore allergeniche migrano nell'atmosfera.

Lo studio del caos è maturato negli anni settanta, quando gli scienziati hanno scoperto che in alcuni fenomeni naturali anche piccolissime perturbazioni possono causare cambiamenti profondi. Secondo un'espressione proverbiale, il battito d'ali di una farfalla in un punto del globo potrebbe causare piccoli cambiamenti nelle correnti d'aria, che evolvendo a cascata potrebbero a distanza di settimane provocare un tornado dall'altra parte del mondo.

I fluidi, che includono gas come l'aria e liquidi come l'acqua di mare, sono in effetti la quintessenza dei sistemi caotici, e sono tra i più diffusi: la dinamica dei fluidi governa fenomeni che vanno dalla Corrente del Golfo al flusso d'aria in una turbina, fino alla traiettoria curva di un calcio di rigore. Le equazioni matematiche che descrivono il comportamento dei fluidi sono state scritte quasi 200 anni fa da Claude-Louis Navier (nel 1822) e George Stokes (nel 1842). Però conoscere le equazioni è diverso da risolverle, e le equazioni di Navier-Stokes restano una delle più grandi sfide della matematica. In via di principio una soluzione esatta delle equazioni di Navier-Stokes fornirebbe una previsione dettagliata del comportamento futuro di un fluido. Ma la precisione della risposta dipenderebbe da una conoscenza esatta del presente, quello che gli scienziati chiamano le condizioni iniziali. In realtà non è possibile sapere la direzione di ogni molecola d'acqua dell'oceano, e in un sistema caotico qualsiasi incertezza, come gli effetti del movimento di una farfalla, cresce esponenzialmente nel tempo. In breve la nostra soluzione esatta delle equazioni di Navier-Stokes diventerebbe opinabile.

Eppure «caotico» non vuol dire «casuale» o «imprevedibile», almeno in teoria. Nell'ultimo decennio i matematici hanno elaborato una cornice teorica per capire le strutture durevoli, come le barriere di trasporto nascoste nei fluidi caotici. Nel 2001 George Haller, matematico oggi alla McGill University, ha dato a queste strutture il nome di «strutture coerenti di Lagrange». In modo più poetico, Haller chiama «scheletro della turbolenza» la struttura intricata delle barriere di trasporto. Una volta che nel corpo di un fluido si identificano queste strutture si possono fare previsioni a breve o medio termine utili a capire, per esempio, la direzione in cui il fluido trasporterà un oggetto, anche senza una soluzione perfetta, precisa, delle equazioni di Navier-Stokes.

Come è fatta una barriera di trasporto? Ogni volta che osservate un anello di fumo ne avete di fronte una. Al suo centro c'è una struttura coerente di Lagrange attrattrice: una curva verso cui le particelle fluiscono come se fossero attratte da un magnete. Normalmente questa struttura non si vedrebbe, ma se soffiate il fumo nell'aria le particelle vi si concentrano attorno e la renderanno visibile.

Le strutture coerenti di Lagrange respingenti sono molto più difficili da visualizzare. Si tratta di curve che se fossero visibili apparirebbero come se stessero allontanando le particelle. Se potessimo riavvolgere il tempo sarebbero più facili da vedere, dato che attirerebbero le particelle. Non potendo farlo, l'unico modo per trovarle è tirarle fuori al computer. Anche se sono difficili da osservare, le strutture respingenti sono molto importanti, perché, come ha dimostrato matematicamente Haller, tendono a formare barriere di trasporto. Un esperimento effettuato nell'estate 2003 nella Monterey Bay, vicino la costa della California, ha mostrato che le strutture coerenti di Lagrange possono essere calcolate in tempo reale e in masse reali d'acqua. Shawn Shadden, matematico dell'Illinois Institute of Technology, e i suoi collaboratori hanno monitorato le correnti superficiali della baia usando quattro stazioni radar ad alta frequenza.

Dana Mackenzie è un *freelance* che scrive di matematica e scienza e vive a Santa Cruz, in California. Ha ottenuto un PhD in matematica alla Princeton University ed è U.S. Life Master di scacchi. Il suo libro più recente è *The Universe in Zero Words* (Princeton University Press, 2012).

Analizzando i dati dei radar, i ricercatori hanno scoperto che per gran parte del tempo una lunga barriera di trasporto attraversa la baia da Point Pinos, al limite meridionale, quasi fino al suo limite settentrionale. Le acque a est della barriera circolano all'interno della baia, mentre quelle sul lato occidentale tornano in mare aperto. A volte la barriera si stacca da Point Pinos e si spinge più lontano nell'oceano. Questa informazione potrebbe essere vitale in caso di sversamento di un inquinante.

Per confermare che le strutture simulate al computer si comportano davvero come previsto, il gruppo di Shadden ha analizzato il movimento di quattro boe lasciate alla deriva, usate in collaborazione con il Monterey Bay Aquarium Research Institute. Quando le boe sono state collocate sui lati opposti della barriera, una ha seguito l'acqua che tornava a circolare all'interno della baia, mentre l'altra ha seguito le correnti, dirigendosi a sud lungo la costa. Il gruppo ha dimostrato anche che un galleggiante liberato nella parte della struttura in cui le acque ricircolano sarebbe rimasto all'interno della baia per 16 giorni, sebbene per il calcolo il gruppo abbia usato i dati raccolti in soli tre giorni. Risultati così robusti testimoniano la forza e la persistenza delle barriere di trasporto. Per 16 giorni c'è stato nell'acqua qualcosa che somigliava davvero a un muro invisibile.

Il golfo se l'è cavata

La dimostrazione più clamorosa del concetto di barriera di trasporto è stata il periodo successivo al disastro avvenuto nel 2010 nel Golfo del Messico. Oceanografi e matematici hanno analizzato quantità enormi di dati sull'incidente, dimostrando che quelle informazioni avrebbero potuto aiutare gli scienziati a prevedere meglio la direzione in cui il petrolio si è spostato.

Le strutture coerenti di Lagrange potrebbero aiutare a spiegare il motivo per cui il petrolio in superficie è scomparso più rapidamente di quanto ci si aspettasse, per esempio molto più velocemente del petrolio liberato nel 1989 nello Stretto di Prince William, in Alaska, dall'incidente della Exxon Valdez. Il destino del petrolio sub-superficiale è molto più controverso, e gran parte di esso potrebbe essere ancora sul fondo del golfo. Si è scoperto che il tiepido Golfo del Messico accoglie orde di microrganismi che si nutrono di idrocarburi che filtrano naturalmente nelle sue acque. In presenza di una quantità di idrocarburi molto più abbondante del solito, questi microrganismi hanno prosperato.

Il microbiologo Dave Valentine e il matematico Igor Mezic, entrambi all'Università della California a Santa Barbara, hanno dimostrato che i batteri tendono ad aggregarsi in regioni definite dalle barriere di trasporto. Ovviamente la stabilità a lungo termine di queste regioni è una delle cause della degradazione del petrolio.

IN BREVE

Nei flussi all'interno dei fluidi, inclusi venti e correnti oceaniche, spesso si formano linee divisorie invisibili.

Queste «barriere di trasporto», le cosiddette strutture coerenti di Lagrange, rendono questi fenomeni caotici più prevedibili.

Capire queste strutture potrebbe essere utile in operazioni di ricerca e salvataggio in mare e per migliorare la bonifica in caso di inquinamento da petrolio; inoltre potrebbe essere utile in problemi legati ai fluidi turbolenti, per esempio nei modelli meteo o del flusso sanguigno.

Valentine ha fatto notare che se l'incidente fosse avvenuto sulla costa del Brasile, altra zona in cui sono state scoperte riserve di petrolio sottomarino, le cose sarebbero andate diversamente. In quella regione le correnti vanno verso il mare aperto, dove non ci sono popolazioni stabili di batteri che si nutrono di idrocarburi.

Le barriere di trasporto potrebbero anche spiegare perché il petrolio proveniente dalla Deepwater Horizon non è entrato nella Loop Current, una corrente che esce dallo Stretto di Florida e si dirige nell'Atlantico, dove avrebbe potuto inquinare le spiagge della costa est degli Stati Uniti. Fino al 2 luglio, la National Oceanographic and Atmospheric Administration sosteneva che vi fossero dal 61 all'80 per cento di possibilità che parte del petrolio incontrasse la Loop Current. La previsione si basava su 15 anni di dati sulle correnti oceaniche del Golfo del Messico.

A quanto pare nel 2010 siamo stati fortunati. Innanzitutto, venti più forti del normale provenienti da sud-ovest hanno spinto la chiazza di greggio verso nord, lontano dalla corrente. Inoltre un vortice gigantesco, che è stato chiamato Eddy Franklin, si è staccato dalla Loop Current e l'ha spinta più a sud del solito, formando una barriera tra corrente e petrolio. Resta da capire se fosse possibile prevedere questi fenomeni.

In ogni caso Haller e l'oceanografa Maria Olascoaga dell'Università di Miami hanno mostrato che altri comportamenti apparentemente capricciosi della chiazza di greggio erano prevedibili. Il 17 maggio, per esempio, una gigantesca «coda di tigre» di petrolio, chiamata così per la sua forma, si è spostata improvvisamente 160 chilometri a sud in un solo giorno. Secondo i loro calcoli la coda di tigre si è spostata insieme a una struttura coerente di Lagrange attrattrice, un'instabilità che era prevedibile da sette giorni a causa della formazione di un forte centro di attrazione in quella struttura. Allo stesso modo, la ritirata improvvisa della macchia verso ovest, avvenuta il 16 giugno, era stata anticipata nove giorni prima dalla formazione a est di una struttura respingente di forza eccezionale. Un sistema di sorveglianza per identificare le barriere di trasporto avrebbe permesso di disporre meglio le navi usate per bonificare le acque.

Negli ultimi anni le applicazioni del concetto di barriera di trasporto hanno proliferato ben oltre lo studio delle correnti oceaniche. Per esempio Shane Ross del Virginia Polytechnic Institute ne ha studiato l'effetto in atmosfera rispetto ai patogeni aerei. Ross e il collega biologo vegetale David Schmale hanno usato un drone per raccogliere campioni di aria a una quota compresa tra decine e centinaia di metri dal suolo, a Blacksburg, in Virginia. Quando una struttura attrattrice si è avvicinata o quando due strutture respingenti sono passate nei paraggi in rapida successione, i ricercatori hanno rilevato un picco nel numero di spore di un fungo chiamato *Fusarium*. Ross ipotizza che nel primo caso le spore siano state spinte verso la struttura coerente, mentre nel secondo siano rimaste intrappolate tra due strutture respingenti, come bestiame spronato ad ammassarsi in una piccola area. Alcune spore erano di specie che non si trovano comunemente in Virginia, fenomeno che suggerisce che le strutture siano rimaste intatte abbastanza a lungo da trasportare le spore per centinaia di chilometri.

Ora Shadden studia il ruolo delle strutture coerenti di Lagrange nel flusso sanguigno. Per esempio le ha usate per scoprire i confini tra il sangue espulso in una contrazione cardiaca e quello espulso nella successiva. Shadden ha dimostrato che la maggior parte del sangue contenuto in un ventricolo normale ci resta per non più di due battiti. Ma in sei pazienti con il cuore ingrossato parte del sangue restava per più tempo: «Un fattore di rischio per la trombosi ben conosciuto», come ha scritto in una bozza del suo studio.

Sono passati più di dieci anni da quando Haller ha dato loro un nome, ma le strutture coerenti di Lagrange sono ancora lontane dall'essere diffuse come strumenti per la ricerca oceanografica o atmosferica. Un'obiezione alla loro utilità si basa sul fatto che errori commessi nella misurazione dei flussi si propagheranno e daranno vita ad altri errori anche nella previsione delle barriere di trasporto. Ma l'esperimento di Monterey Bay ci dice che la localizzazione delle barriere è relativamente insensibile a questi errori. Secondo un'altra obiezione, per calcolare le strutture bisogna conoscere il campo dei flussi, cioè la velocità dell'acqua in ogni punto. Ma con queste informazioni si può prevedere il comportamento di una chiazza di petrolio usando i modelli matematici esistenti: a che cosa servono allora le strutture coerenti di Lagrange?

Negli ultimi anni le applicazioni del concetto di barriera di trasporto hanno incluso anche l'ambito medico

La previsione non è l'unico problema sul tavolo. La «post-visione» potrebbe risultare importante per scoprire la fonte di sversamenti di petrolio «misteriosi» che arrivano sulle coste da fonti sconosciute, spesso da navi affondate. La *SS Jacob Luckenbach*, affondata al largo di San Francisco nel 1953, ha inquinato la costa californiana ogni anno dal 1991, ma la fonte dello sversamento di petrolio è stata scoperta solo nel 2002. Incidenti aerei e naufragi hanno buttato in mare anche rottami e corpi, ma i modelli oceanici convenzionali non possono tornare indietro nel tempo, e quindi i soccorritori non possono estrapolare dati dai rottami osservati per risalire alla fonte. Ma l'oceanografo C. J. Beegle-Krause e il matematico Thomas Peacock del Massachusetts Institute of Technology lavorano all'uso delle strutture coerenti di Lagrange per prevedere dove i sopravvissuti ai naufragi verranno portati dalle correnti, in modo da ridurre l'area di ricerca. In queste situazioni, osserva Peacock, «anche pochi minuti sono una questione di vita o di morte».

Infine, le strutture coerenti di Lagrange forniscono più che previsioni e post-visioni: forniscono conoscenza. Conoscere queste strutture permette di interpretare meglio la previsione effettuata con modelli matematici. Se un modello prevede che una striscia di petrolio si sposterà in una direzione e vediamo una struttura che la spinge o la tira in quella direzione, possiamo confidare ragionevolmente nella previsione. Se non ci è alcuna struttura corrispondente, potremmo essere più scettici rispetto al modello.

I matematici stanno espandendo le loro ricerche a tipi diversi di strutture organizzate in fluidi turbolenti, come vortici o getti. Con conoscenze più approfondite potremmo rispondere a domande su fenomeni caotici che oggi ci sfuggono. ■

PER APPROFONDIRE

The Correlation between Surface Drifters and Coherent Structures Based on High-Frequency Radar Data in Monterey Bay. Shadden S.C. e altri, in «Deep-Sea Research, Part II: Topical Studies in Oceanography», Vol. 56, n. 35, pp. 161-172, febbraio 2009.

Forecasting Sudden Changes in Environmental Pollution Patterns. Olascoaga M.J. e Haller G., in «Proceedings of the National Academy of Sciences», Vol. 109, n. 13, pp. 4738-4743, 27 marzo 2012.

Lagrangian Coherent Structures: The Hidden Skeleton of Fluids Flows. Peacock T. e Haller G., in «Physics Today», Vol. 66, n. 2, pp. 41-47, febbraio 2013.

Hoboken, New Jersey.
L'inondazione provocata dall'uragano Sandy ha allagato il centro cittadino e fatto saltare l'elettricità.

Staten Island.
Almeno 17 persone sono affogate nonostante gli argini di protezione.

Manhattan. Il super uragano Sandy ha invaso le strade e allagato i tunnel della metropolitana.

CLIMATOLOGIA

La tempesta del secolo *

*ogni due anni

Senza drastici interventi, la città di New York e l'intera costa orientale degli Stati Uniti potrebbero affrontare frequenti distruzioni

di Mark Fischetti *mappe di XNR Productions*

Brooklyn. La furia delle acque ha distrutto edifici e innescato incendi devastanti.

Nei suoi 26 anni di lavoro per la MTA, l'azienda di trasporti pubblici di New York, Thomas Abdallah di acqua ne ha vista tanta. Nel dicembre 1992 una tempesta interruppe l'elettricità nella metropolitana, obbligando a evacuare i passeggeri dai tunnel allagati. Nell'agosto 2007 un diluvio da 15 centimetri di acqua, che i meteorologi definirono «un evento climatico estremo», bloccò di nuovo il sistema. Altrettanto fece l'uragano Irene, nell'agosto 2011. E poi è arrivato l'uragano Sandy.

Mentre l'ondata di piena provocata dall'azione dei venti e della bassa pressione sul mare innescata da Sandy allagava la parte bassa di Manhattan, dozzine di addetti della MTA hanno sfidato vento e pioggia per sistemare fogli di compensato e sacchetti di sabbia a difesa degli ingressi della metropolitana. Ma l'acqua ha travolto facilmente quelle fragili barricate, precipitando giù per le scale, allagando le stazioni fino all'altezza del petto di un uomo, e sette lunghi tratti di tunnel si sono trasformati in fiumi sotterranei. Le grandi pompe sistemate in oltre 300 caverne artificiali sotto le linee della metropolitana, in grado di pompare 68 milioni di litri al giorno, non sono bastate.

Dopo il diluvio Abdallah, che è ingegnere capo per il sistema ambientale della MTA, ha valutato i danni. L'acqua del mare ha corroso l'equipaggiamento elettrico della metropolitana, in gran parte da sostituire. Joe Lotha, all'epoca presidente della MTA (ora è in gara per l'elezione a sindaco), ha dichiarato al Congresso che riparare completamente il sistema costerà 5 miliardi di dollari, una somma che servirà soltanto a riportare la metropolitana nelle condizioni precedenti a Sandy, non a migliorarne la resistenza al prossimo uragano o all'innalzamento del livello dei mari.

Questa situazione sta diventando sempre più costosa, in termini di denaro e di vite umane. Gli esperti predicono che le tempeste in grado di provocare danni diventeranno più forti e più frequenti. Secondo le ultime stime, la probabilità che a New York avvengano allagamenti gravemente distruttivi sarà di una ogni due anni entro la fine del secolo, a meno di non adottare drastici cambiamenti alle infrastrutture. Di decennio in decennio, l'allagamento «medio» diventerà sempre più grave, e spendere miliardi di dollari in riparazioni sarà la norma.

New York non è la sola a fronteggiare un simile futuro. La costa orientale degli Stati Uniti – una delle aree più ricche e densamente abitate del mondo– è un *hot spot*, un punto critico dell'innalzamento del livello dei mari. La fusione del ghiaccio artico sta cambiando le correnti dell'Atlantico in modo da innalzare l'acqua lungo le coste. Ma allo stesso tempo la terraferma si sta ab-

IN BREVE

Le probabilità di gravi inondazioni nella città di New York arriveranno a una ogni due anni nel 2100, anche perché la costa orientale degli Stati Uniti è un punto critico dell'innalzamento dei livelli dei mari.

Proteggere la città richiede misure drastiche politicamente molto impopolari: grandi barriere del costo di miliardi di dollari e l'evacuazione della popolazione dalle aree più basse.

Il modo migliore per proteggere le lunghe linee di costa fra le città è accumulare sabbia lungo le spiagge ogni 5-10 anni, ma non è chiaro se al largo esistano abbastanza depositi di sabbia di qualità.

Eliminare i sussidi federali per le assicurazioni contro le inondazioni, in modo che i residenti delle case sulle spiagge ne paghino il costo pieno, potrebbe incoraggiare la gente a spostarsi dalle aree vulnerabili.

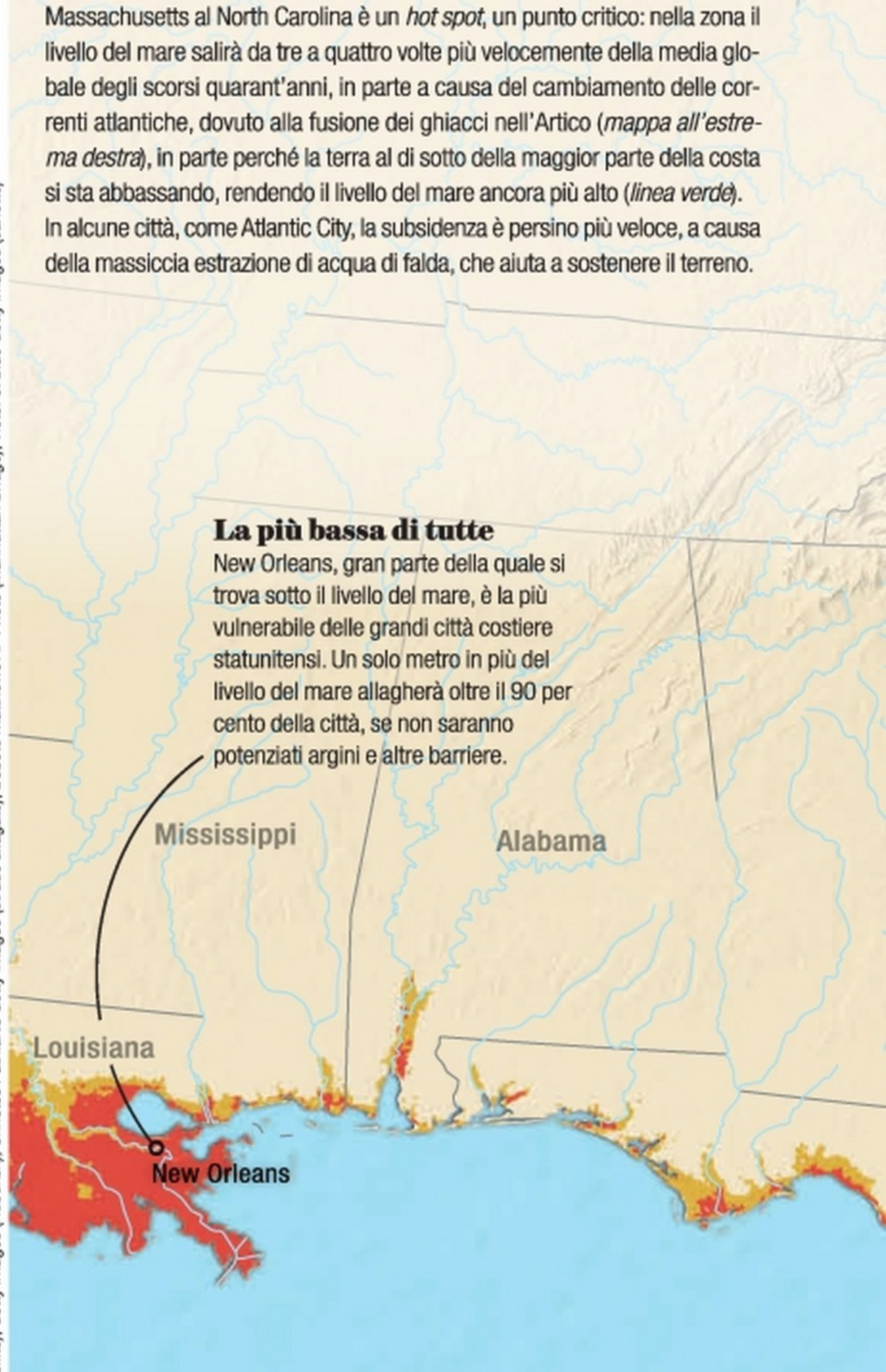
Pagine precedenti: NASA Visible Earth (*satellite*); Getty Images (*Hoboken*); Christos Pathiakis Getty Images (*strade allagate*); Bebeto Matthews AP Photo (*Manhattan Bridge*); Victor J. Blue Getty Images (*canotto*)

COSTA EST DEGLI STATI UNITI

Un *hot spot* per l'innalzamento dei mari

La crescita del livello dei mari potrebbe inondare una significativa porzione della costa orientale degli Stati Uniti, densamente popolata ed economicamente molto importante. Le ultime stime indicano che il livello globale delle acque potrebbe crescere di almeno un metro entro il 2080 (*in rosso*) a causa dell'aumento delle temperature e della fusione dei ghiacciai.

Ma l'effetto non sarà uniforme. La costa orientale degli Stati Uniti dal Massachusetts al North Carolina è un *hot spot*, un punto critico: nella zona il livello del mare salirà da tre a quattro volte più velocemente della media globale degli scorsi quarant'anni, in parte a causa del cambiamento delle correnti atlantiche, dovuto alla fusione dei ghiacci nell'Artico (*mappa all'estrema destra*), in parte perché la terra al di sotto della maggior parte della costa si sta abbassando, rendendo il livello del mare ancora più alto (*linea verde*). In alcune città, come Atlantic City, la subsidenza è persino più veloce, a causa della massiccia estrazione di acqua di falda, che aiuta a sostenere il terreno.



La più bassa di tutte

New Orleans, gran parte della quale si trova sotto il livello del mare, è la più vulnerabile delle grandi città costiere statunitensi. Un solo metro in più del livello del mare allagherà oltre il 90 per cento della città, se non saranno potenziati argini e altre barriere.

Sabbie mobili

L'unico modo pratico per proteggere le centinaia di chilometri di costa fra le città è pompare sabbia sulle spiagge ogni cinque o dieci anni, prelevandola da depositi al largo, per sostituire quella che le onde hanno spazzato via. Non è chiaro però se esistano abbastanza depositi di qualità per andare avanti oltre pochi decenni.

Gli stati sott'acqua

Fra qualche secolo il livello del mare potrebbe innalzarsi di 6 metri a causa dell'esteso scioglimento delle calotte polari. Ma anche un solo metro di aumento, previsto per il 2080, inonderebbe moltissime proprietà costiere

In dettaglio nelle pagine seguenti

Area sommersa dalla crescita del livello marino

- 1 metro di crescita
- 6 metri di crescita

Percentuale della superficie cittadina sotto 1 metro di elevazione

New Orleans	91%
Miami	18%
Tampa	15%
Norfolk	9%
Jacksonville	7%
New York	7%
Boston	3%

Le più vulnerabili

Le città indicate in questa mappa hanno grandi popolazioni, sono esposte all'oceano e includono vaste aree con elevazioni estremamente basse, il che le rende le più suscettibili al disastro.

Continente che si alza

Continente che si abbassa

Cratere di impatto della Chesapeake Bay

I danni della subsidenza

Da quando i ghiacciai del Nord America hanno cominciato a ritirarsi, 20.000 anni fa, gli Stati Uniti orientali si stanno abbassando, via via che la crosta si adatta al nuovo carico. La costa tra il Massachusetts e il North Carolina continuerà a sprofondare di un millimetro o più all'anno, favorendo l'invasione dell'oceano.

Sprofondamento locale

Norfolk e Virginia Beach, in Virginia, stanno sprofondando anche più velocemente, perché i sedimenti al di sotto di esse continuano a scivolare nel cratere da impatto che formò la Cheasepeake Bay 35 milioni di anni fa.

Punto critico per le inondazioni

La risalita del livello dei mari varia globalmente. Ma secondo i locali misuratori di marea, in funzione da decenni, è particolarmente aggressiva lungo la costa atlantica intermedia, da Cape Cod a Cape Hatteras. Per il 2100 gli oceani lungo questa regione potrebbero essere risaliti fra i 12 e i 24 centimetri oltre l'incremento medio globale.

Accelerata risalita del livello dei mari da misuratori di marea selezionati, 1970-2009

- Oltre 5 mm/anno
- 4-5 mm/anno
- 3-4 mm/anno
- 2-3 mm/anno
- 1-4 mm/anno
- Meno di 1 mm/anno

Fonti: *Implications of Recent Sea Level Rise Science for Low-Elevation Areas in Coastal Cities of the Conterminous U.S.A.*, di Jeremy L. Weiss, Jonathan T. Overpeck e Ben Strauss, in «Climatic Change», Vol. 105, n. 3-4; aprile 2011 (*dati di risalita del livello dei mari, 1 e 6 metri*); *Hotspot of Accelerated Sea-Level Rise on the Atlantic Coast of North America*, di Ashbury H. Sallenger, Jr., Kara S. Doran e Peter A. Howd, in «Nature Climate Change», Vol. 2, 2012 (*dati dei misuratori di risalita dei livelli dei mari, USGS*)

bassando per subsidenza. Nel 2012 lo US Geological Survey ha riferito che negli ultimi sessant'anni il livello del mare fra Cape Cod, presso Boston, e Cape Hatteras, nel North Carolina, è cresciuto fra tre e quattro volte più velocemente della media globale. Questi dati confermano i modelli secondo cui entro il 2100 il livello dei mari nella regione atlantica intermedia si alzerà di 12-24 centimetri in più rispetto all'aumento medio mondiale, già di per sé di svariate decine di centimetri.

I danni provocati da Sandy hanno risvegliato l'attenzione sulla vulnerabilità delle aree costiere alle ondate di tempesta e all'aumento del livello dei mari. Gli esperti stanno discutendo sugli interventi in grado di proteggere meglio la costa orientale degli Stati Uniti, specialmente considerando gli altri milioni di persone che vi si trasferiranno in futuro. Trasformare l'intera linea di costa in una fortezza avrebbe un prezzo proibitivo e provocherebbe la scomparsa di molte aree di costa sabbiosa. Eppure l'alternativa – allontanare le persone dal mare – sarebbe un tema politicamente esplosivo, e causerebbe enormi danni sociali ed economici.

Il dilemma è particolarmente sentito a New York, dove lo scorso giugno il sindaco Michael Bloomberg ha presentato un piano, accompagnato da un rapporto di 438 pagine, che prevede di circondare la città con un sistema di argini, dune di sabbia e zone umide, molto simile alle difese «naturali» che lo US Army Corps of Engineers ha costruito intorno a New Orleans, e che coprirebbe circa 800 chilometri di coste. Il costo iniziale del piano è di circa 20 miliardi di dollari, ma include un numero tale di progetti e coinvolge talmente tante zone diverse dell'area metropolitana che la cifra è destinata senza dubbio a cambiare, e non di poco.

Le scelte saranno ancora più difficili per i lunghi tratti di costa fra le città lungo il New Jersey, il Maryland, il North e il South Carolina e la Florida. Per resistere alle inondazioni provocate da tempeste e uragani nel periodo di massimo innalzamento del livello dei mari, gli Stati Uniti dovrebbero costruire un muro alto quasi 5 metri lungo ogni centimetro della costa orientale. Ma anche se ci fossero i fondi per farlo, i milioni di persone che vivono nelle comunità lungo le spiagge non lo accetterebbero mai, perché bloccherebbe la vista e l'accesso al mare. La sola azione politicamente accettabile è continuare ad accumulare sabbia nelle spiagge, anche se i livelli sempre più alti delle acque le eroderanno sempre di più; una fatica di Sisifo che serve solo a rinviare l'inevitabile abbandono delle coste.

Dopo aver ascoltato decine di esperti, è chiaro che le drastiche misure necessarie per rafforzare la costa orientale degli Stati Uniti richiederanno decenni per essere completate, costeranno centinaia di miliardi di dollari e rovineranno molte vite, ma saranno un male necessario.

Difendere New York

New York è una delle dieci grandi città portuali del mondo più esposte alle inondazioni, con oltre 2 milioni di miliardi di dollari di proprietà costiera a rischio. Quando Cynthia Rosenzweig, climatologa della Columbia University, è intervenuta a un incontro internazionale dopo il disastro di Sandy, i delegati delle altre città le hanno detto che guardavano a New York come alla città di riferimento per le strategie da adottare.

Il problema è che Sandy e i più recenti dati climatici hanno spazzato via i presupposti su cui si era basata finora la protezione della città. Un rapporto del New York City Panel on Climate Change (NPCC) del 2009, basato su modelli climatici convenzionali, affermava che la città avrebbe dovuto prepararsi a un innalzamento

NEW YORK

Bloccare le acque o abbandonare la costa

Le ondate di piena provocate dalle tempeste (chiamate *storm surge*) e l'aumento del livello dei mari minacciano New York. La muraglia d'acqua da 3,4 metri scatenata dall'uragano Sandy (*in rosa, viola, marrone e rosso*) è di gran lunga la più alta che si sia mai abbattuta sull'area metropolitana. Come la maggior parte delle città, New York basa i piani di protezione sulle mappe della Federal Emergency Management Agency, che mostrano dove avverranno più probabilmente gli allagamenti nel caso di una tempesta ogni 100 anni. La FEMA ha aggiornato le mappe delle zone a rischio, ma l'inondazione di Sandy è arrivata molto più all'interno del previsto in varie zone (*legenda sotto*). Due grandi barriere potrebbero contenere le acque, ma probabilmente con l'innalzamento del livello del mare le aree più basse, che già si allagano regolarmente, dovranno essere abbandonate.

Livelli di allagamento

Un innalzamento del mare di 1,4 metri entro il 2100 ricadrebbe entro alcune delle zone di allagamento riportate nelle mappe della FEMA (*in verde e marrone*), ma le supererebbe in altri punti (*in blu e viola*). L'inondazione causata da Sandy ha coperto tutte le aree della FEMA (*in marrone e rosso*) e molte di quelle da 1,4 metri (*in marrone e viola*), ma in numerose altre si è spinta ancora oltre (*in rosa*).

Fonti: Digital Flood Insurance Rate Map, FEMA (FEMA *zone inondate ogni 100 anni*); FEMA Modeling Task Force-Hurricane Sandy Impact Analysis (*livelli di Sandy*); Institute For Sustainable Cities, City University Of New York, scaricato da Nyc Open Data (*aumento di 1,4 metri del livello marino*); Halcrow Group (*le barriere proposte*)

Illustrazione di George Retseck (inset)

Aiutare l'Hudson

La piena provocata da Sandy ha fatto crescere il livello dell'Hudson fino ad Albany, circa 240 chilometri a nord (*non mostrato*). Le barriere potrebbero proteggere l'intero tratto di costa.

Il problema dell'inondazione dall'interno

Barriere collocate all'ingresso della baia potrebbero rimanere chiuse al massimo per un giorno circa, perché le piene prodotte dagli uragani nei molti grandi fiumi che vi si gettano riempirebbero la baia dall'interno, causando un'alluvione di natura diversa.

Vincitori e perdenti

Una barriera sull'East River aiuterebbe a sigillare tutti e cinque i grandi distretti di New York, ma innalzerebbe il livello delle acque immediatamente a est.

Una soluzione verde

Ripristinare le zone umide degradate della Jamaica Bay, come si è già iniziato a fare, potrebbe ridurre l'effetto delle inondazioni sulla parte meridionale di Brooklyn e al Queens.

Andarsene?

Nella penisola di Rockaways, una delle zone più basse, oltre 100 case sono state distrutte dall'inondazione di Sandy o dagli incendi che sono seguiti: forse è un luogo da cui ritirarsi permanentemente.

Barriera protettiva

Una barriera esterna lunga 8 chilometri si chiuderebbe per fermare un'inondazione. Normalmente le sue porte basculanti resterebbero aperte per consentire il passaggio alle navi, e cinque chiuse mobili permetterebbero il mescolarsi giornaliero di maree e acqua dolce, necessario a mantenere viva la baia. Argini su ogni lato impedirebbero l'allagamento da parte dell'acqua respinta dalle barriere. Il progetto potrebbe anche includere un'autostrada per velocizzare il traffico intorno alla città.

del livello del mare di almeno 60 centimetri entro il 2100. Ma nel 2012 nuove informazioni provenienti da varie fonti globali hanno mostrato che i ghiacci dell'Antartide e della Groenlandia stanno fondendo più velocemente di quanto previsto da quei modelli. Secondo il cosiddetto scenario di «rapida fusione dei ghiacci», i livelli globali del mare saliranno di 1,2 metri entro il 2090, dice Klaus Jacob, del Lamont-Doherty Earth Observatory alla Columbia University. Nella New York del 2100 «saranno circa 30 centimetri di più», aggiunge.

Il rapporto dell'NPPC, inoltre, non si era concentrato molto sulle inondazioni anomale causate da tempeste e uragani, ma il livello massimo raggiunto dall'ondata di piena provocata da Sandy è stato di 3,3 metri al di sopra del livello del mare nella punta inferiore di Manhattan. Le mappe delle zone a rischio, aggiornate appena lo scorso gennaio dalla Federal Emergency Management Agency (FEMA), indicano che un'inondazione di 2,4 metri causerebbe un allagamento esteso e distruttivo. Quindi se nel 2100 il livello del mare sarà di 1,4 metri più alto, basterebbe un'ondata di piena alta 90 centimetri per infliggere danni considerevoli.

Naturalmente per quella data il cambiamento climatico avrà spinto il livello dei mari sempre più in alto. Jacob sostiene che la probabilità che New York sia colpita da un'inondazione anomala provocata da una tempesta passerà, nel prossimo decennio, da una volta ogni 100 anni a una volta ogni 50, per arrivare a una volta ogni 2 anni intorno al 2080.

Malgrado queste preoccupanti prospettive, nessuno degli oltre 20 scienziati, ingegneri e manager cittadini intervistati per questo articolo ha proposto un piano complessivo e definitivo per proteggere New York da una risalita di un metro e mezzo del livello del mare a cui si aggiunga un'ondata di piena da 3,3 metri, perché quel genere di intervento è politicamente impraticabile. L'unica eccezione è Jeroen Aerts, ex consulente dell'ufficio per la pianificazione a lungo termine e della sostenibilità del Dipartimento di pianificazione urbana della città di New York.

Secondo Aerts, la strategia da adottare è evidente. Iniziare subito a costruire edifici a prova di alluvione, in grado di resistere a eventi come il diluvio da 15 centimetri del 2007. Modificare i tunnel della metropolitana, ferroviari e automobilistici in modo che l'acqua non vi possa penetrare. Blindare le centrali elettriche, gli impianti di trattamento dell'acqua e le altre «infrastrutture critiche». Allo stesso tempo, cambiare i regolamenti edilizi per scoraggiare la costruzione di edifici nelle aree più basse. Aggiungere mura di contenimento lungo i punti più bassi dei quartieri cittadini per respingere la crescita del livello delle acque. E far partire studi di fattibilità per la costruzione di enormi barriere da installare lungo la baia per contenere le prossime ondate di piena causate da tempeste e uragani. Questi studi richiederanno anni, e la costruzione delle barriere altri anni ancora, «così arriveremo al 2030 prima che le barriere siano al loro posto», spiega Aerts. «Nel frattempo cominciamo a realizzare le misure su cui siamo tutti d'accordo», come rialzare le entrate della metropolitana, in modo che l'acqua non precipiti giù per le scale fino ai binari.

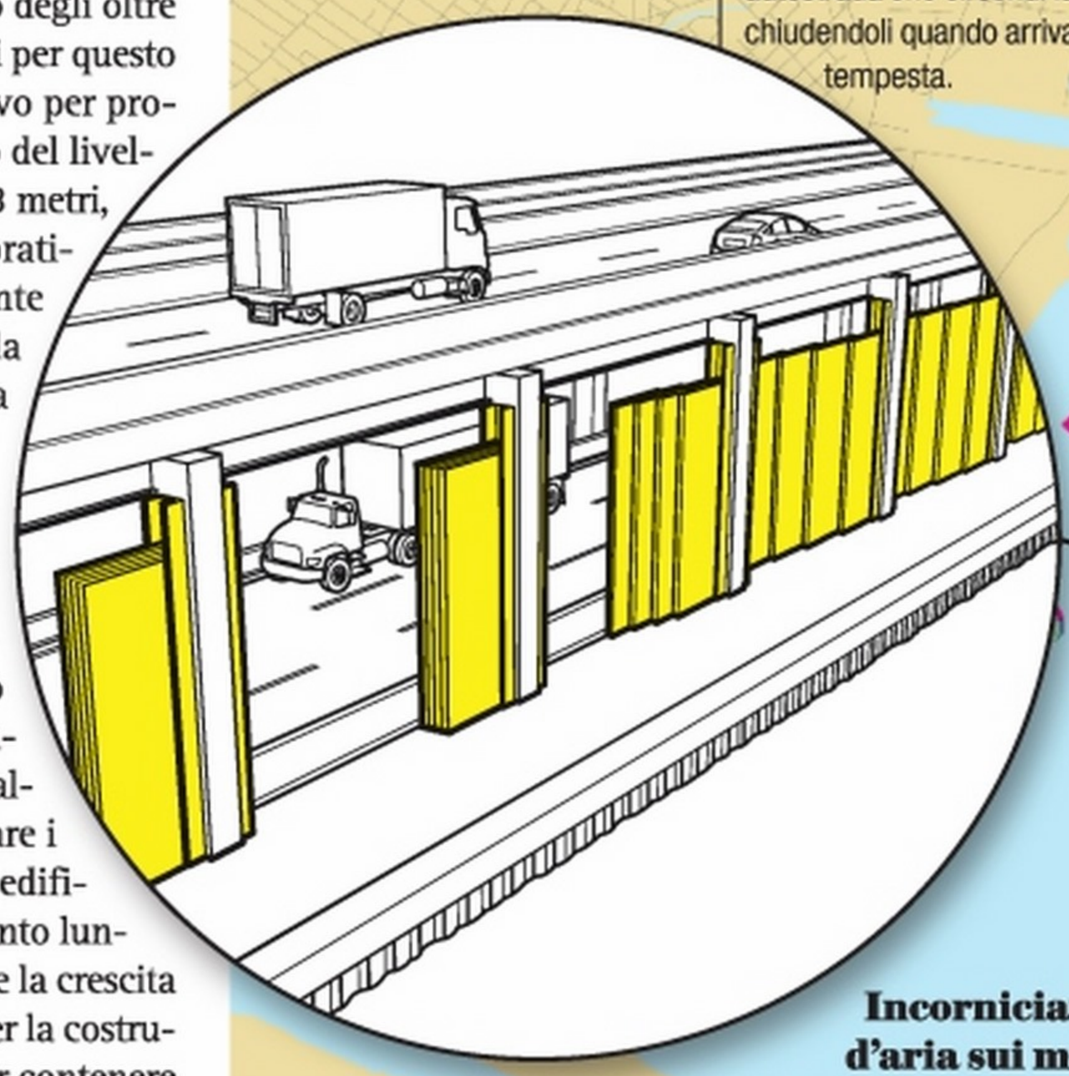
Tuttavia, un piano centralizzato come quello immaginato da Aerts è incompatibile con il decentramento locale tipico dell'organizzazione politica degli Stati Uniti. Non a caso Aerts è uno specialista in geografia del rischio dell'Istituto di studi ambientali di Amsterdam. E in Olanda la gestione del rischio di tipo *top-down*,

LOWER MANHATTAN

Misure tattiche per mitigare i danni

Con l'innalzamento del livello dei mari, maree e piene invaderanno le città costiere sempre più all'interno, e anche normali tempeste causeranno estesi allagamenti. Varie misure di protezione di tipi «tattico» sono state proposte per New York e altre città, alcune delle quali illustrate in questo riguadro. Tuttavia gli esperti avvertono che qualsiasi intervento di mitigazione dovrebbe prima soddisfare standard e politiche stabiliti a livello regionale, compresa un'analisi costi-benefici nel breve e lungo termine. Altrimenti, il denaro speso per implementarli andrà sprecato.

Installare muri retrattili anti inondazione
Se non si costruiscono barriere giganti nell'oceano per contenere le piene, si potrebbero installare alti muri retrattili fra i pilastri di una autostrada che circondi la città, chiudendoli quando arriva la tempesta.



Incorniciare le prese d'aria sui marciapiedi
L'improvvisa cascata di pioggia provocata dalle tempeste può superare il cordolo e penetrare nelle prese d'aria della metropolitana lungo i marciapiedi. Circondare queste prese d'aria con delle semplici cornici verticali può deviare il flusso.

Rinforzare i moli
Passerelle e moli, quando sono troppo bassi sul livello dell'acqua possono, essere rialzati e fortificati.

Erigere scogliere
Scogliere e zone umide artificiali possono rompere le onde e rallentare le piene, riducendo la loro energia.

Illustrazione di George Retseck (*inserti*)

MANHATTAN

Hudson River

Chelsea

West Village

Stuyvesant Town

East Village

SoHo

Tribeca

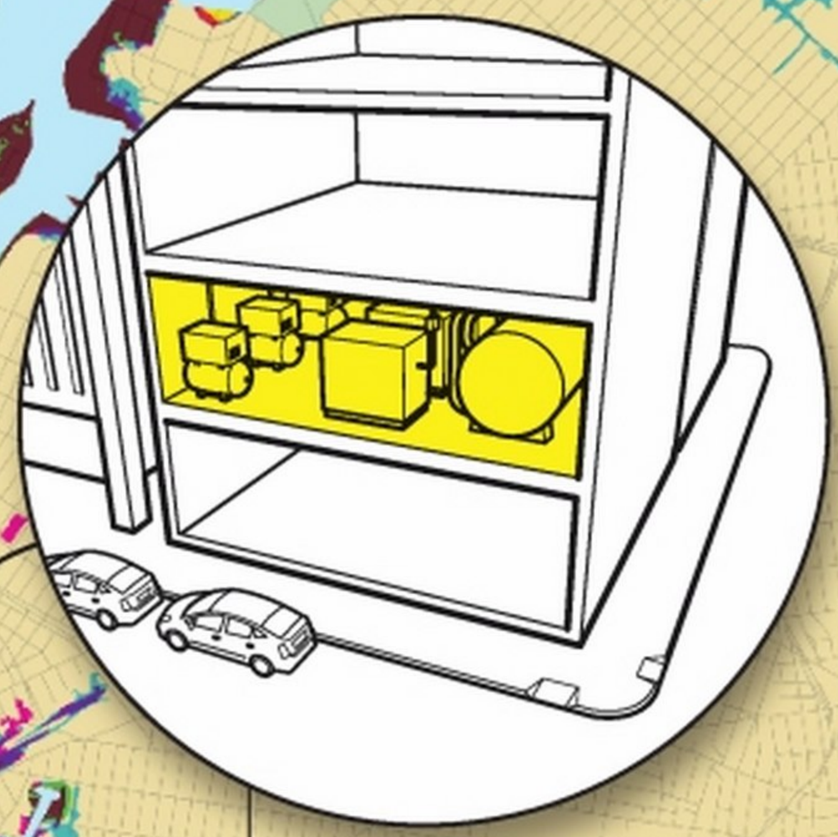
Lower East Side

Financial District

East River

BROOKLYN

QUEENS



Elevare gli impianti

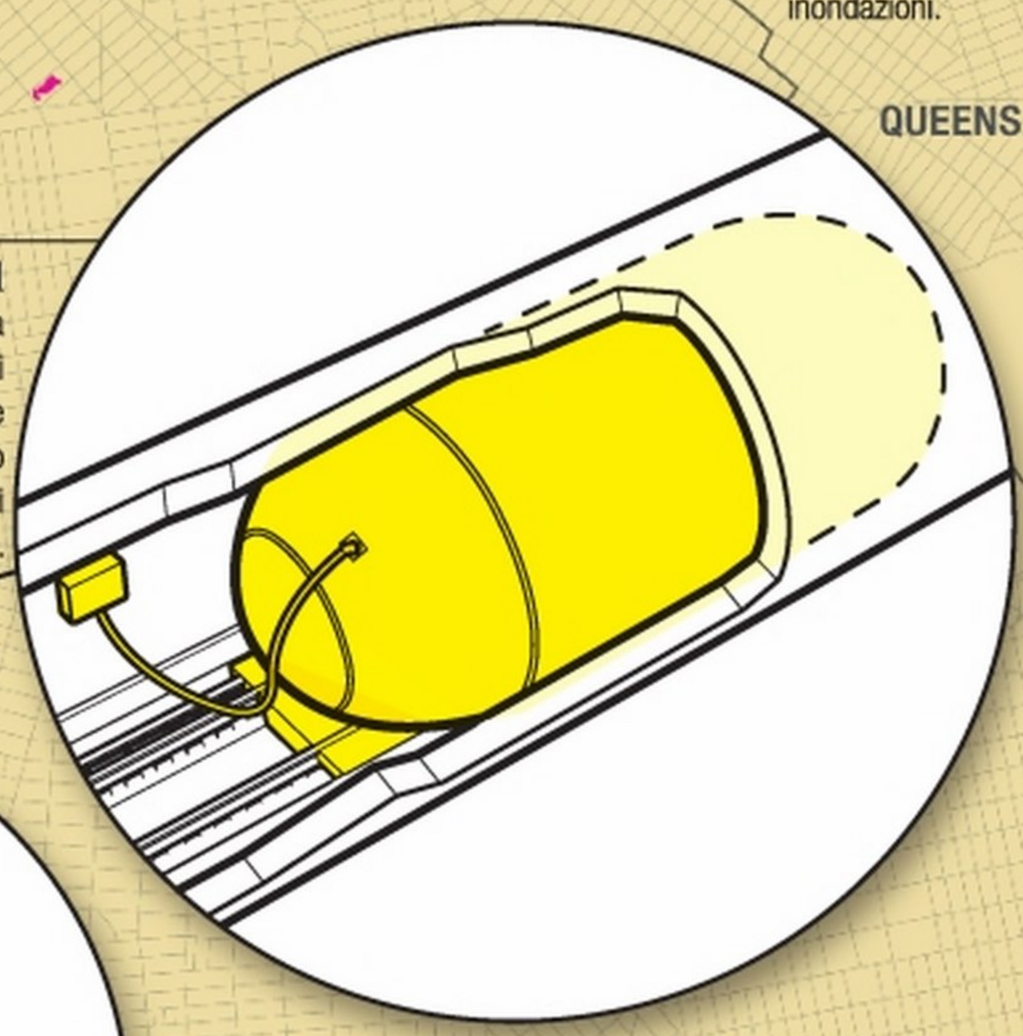
Blackout e incendi possono essere innescati da caldaie e pannelli elettrici situati nelle cantine inondate. L'acqua può mettere fuori uso anche i generatori di emergenza. Elevare sopra il livello del terreno gli impianti vitali degli edifici, e forse spostare sottoterra i depositi di carburante, potrebbe ridurre i rischi.

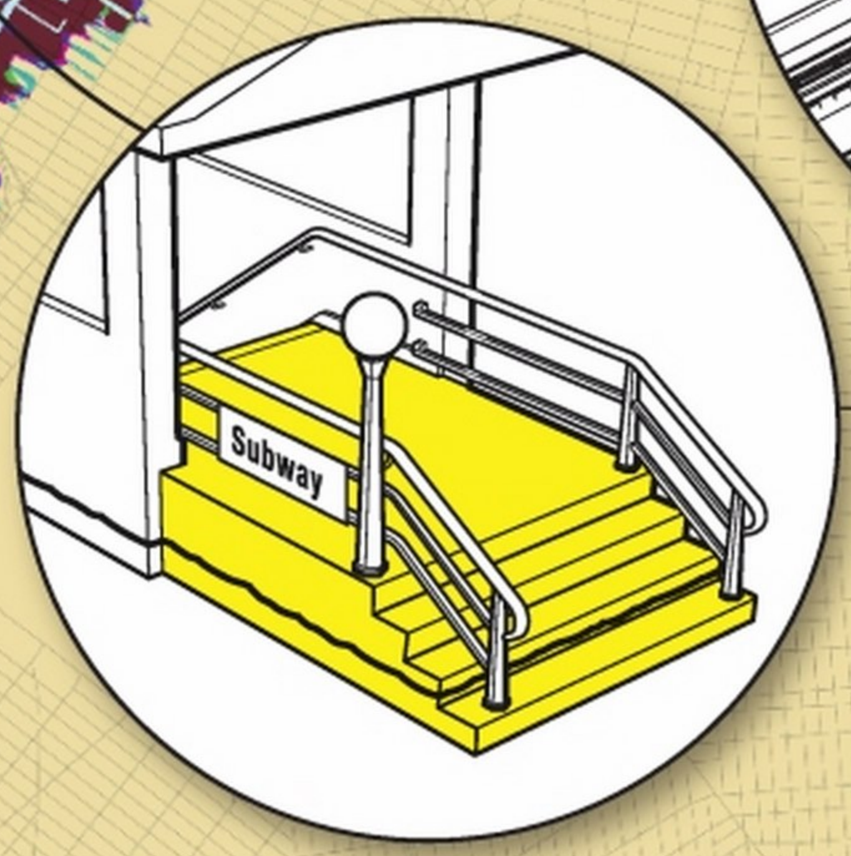
Infrastrutture critiche a prova di alluvione

Centrali elettriche, ospedali e altre infrastrutture essenziali vanno assolutamente difese usando argini, porte sigillate, boccaporti sotterranei e altre simili per renderle resistenti alle inondazioni.

Installare air bag da tunnel

I tunnel stradali e della metropolitana possono intrappolare molte persone se si allagano rapidamente. Air bag di plastiche flessibili ma molto resistenti potrebbero gonfiarsi in pochi minuti, tenendo fuori l'acqua.





Rialzare gli ingressi alla metropolitana

L'uragano Sandy ha allagato il sistema della metropolitana di New York anche per colpa delle cascate di acqua salata che si sono formate lungo le scale di accesso. Aggiungere un po' di gradini verso l'alto prima di quelli in discesa potrebbe bloccare l'ingresso dell'acqua alta.

dove è la strategia generale a decidere anche il dettaglio locale, è cruciale per costruire e mantenere il più esteso sistema di protezione del mondo contro le inondazioni.

Ma persino se le autorità cittadine e statali accettassero il piano di Aerts ci sarebbero complicazioni. Per cominciare, ingegneri e tecnici dovrebbero mettersi d'accordo sul punto migliore in cui installare le massicce strutture. Una barriera è fondamentalmente un muro con enormi porte. Normalmente le porte resterebbero aperte per consentire il passaggio delle navi e il quotidiano mescolarsi di marea e acqua dolce dei fiumi, che mantiene vitale l'ecosistema della baia. Quando una tempesta si avvicina, le porte si chiuderebbero per trattenere l'ondata di piena.

Malcolm Bowman, della Stony Brook University, ha presentato diversi anni fa un progetto con tre barriere, che proteggerebbero soprattutto Manhattan, ma gli ingegneri adesso si stanno orientando verso la proposta del piano a due barriere avanzata dalla società privata Halcrow Group, che comprende un muro di 8 chilometri che chiuderebbe tutta la città di New York (*si veda il box a p. 71*). Un progetto così mastodontico può sembrare una follia, ma nel 2010 una barriera tre volte più lunga ha iniziato a funzionare a San Pietroburgo, in Russia. Quella barriera, costata 6,9 miliardi di dollari è un buon modello, perché la profondità della acque e l'altitudine di San Pietroburgo sono simili a quelle di New York.

Tuttavia, dato che normalmente le barriere sarebbero aperte, non servirebbero contro l'aumento del livello dei mari, per cui sarebbero necessarie altre misure. I critici sottolineano inoltre che l'acqua respinta dalle barriere si riverserebbe ai suoi lati, peggiorando l'inondazione nelle comunità adiacenti. Ma Philip Orton, ingegnere oceanico dello Stevens Institute of Technology, ribatte che la maggior parte dell'acqua si disperderebbe in mare aperto. Prima dell'arrivo di Sandy, lui e i suoi colleghi stavano ricostruendo l'ondata di piena provocata dall'uragano Irene fra Cape Cod e il Maryland con un modello al computer che permette di simulare l'inserimento di barriere in punti differenti e vedere come risponde la piena. Test del sistema a tre barriere di Bowman hanno mostrato che l'acqua ai lati delle porte si alzerebbe solo di un ulteriore 5-7 per cento. Orton sta ora adattando il modello all'inondazione causata da Sandy.

Un'altra preoccupazione è che le barriere possano diventare trappole mortali, che è la ragione per cui a Jacob non piacciono, benché avrebbero impedito a Sandy di allagare la sua stessa casa, situata a nord di Manhattan, lungo il fiume Hudson. Una volta che le barriere chiudessero la baia intorno alla città, le acque del grande Hudson e degli altri fiumi minori e le piogge torrenziali inizierebbero ad accumularsi nella baia al di qua delle mura. Orton dice che il tasso di crescita sarebbe di 90 centimetri al giorno; sempre meno di una piena di oltre 3 metri. Inoltre la maggior parte delle ondate di piena dura solo poche ore, quindi basterebbe riaprire le barriere appena possibile.

Le grandi barriere si sono dimostrate efficaci in varie parti del mondo. Ma ogni piano che le preveda dovrebbe includere la lezione che gli olandesi hanno imparato nel modo più difficile: hanno iniziato a costruire le loro barriere negli anni cinquanta, ma recentemente sono stati costretti a cominciare a modificarle, a costi enormi, per adattarle alla crescita del livello dei mari. New York dovrebbe quindi progettare barriere che possano essere rialzate nel tempo, anche di 1,4 metri nei prossimi novant'anni, e poi ancora di più nel prossimo secolo.

Anche le nuove norme edilizie dovranno tenere in considerazione la prevista crescita del livello dei mari. In effetti, qualsiasi piano di adattamento dovrebbe contemplare ogni aspetto rilevante del cambiamento climatico, come ondate di calore più lunghe e maggiore umidità, che potrebbero mettere seriamente a rischio la rete elettrica, e venti più intensi.

La principale obiezione alle barriere è il costo. Eppure l'investimento si ripagherebbe abbondantemente. Paul Kirshen, professore di ricerca e ingegneria ambientale all'Università del New Hampshire, sostiene che ogni dollaro speso in protezione eviterà di spenderne quattro in riparazioni dopo una tempesta, secondo un calcolo basato sugli effetti di misure di piccola scala, adottate in varie municipalità del nord-est. Sandy è costato 19 miliardi di dollari. E si tratta di unico uragano.

La principale obiezione alle barriere è il costo, ma l'investimento si ripagherebbe abbondantemente. Studi di precedenti disastri indicano che ogni dollaro speso in misure di protezione può farne risparmiarne quattro in riparazioni

Ogni città dovrà però valutare individualmente la soluzione dei propri problemi. Per esempio a Norfolk, in Virginia, il terzo porto più grande della costa orientale, il livello del mare si è già alzato di 35 centimetri negli ultimi 80 anni, e il suo centro si allaga spesso.

Miami potrebbe essere il caso più disperato, poiché è esposta a molti più uragani e si trova quasi tutta al livello del mare. Inoltre la città è costruita su roccia calcarea porosa: quando il mare si alza, il calcare assorbe l'acqua che risale così da sotto le strade allagando la città dall'interno verso l'esterno. La città sta potenziando un sistema di pompaggio per eliminare l'acqua piovana dopo i temporali, ma il sistema non potrebbe liberare la città da un'ondata di piena, e sarebbe inutile nel caso di una crescita del livello del mare di 1,4 metri, visto che l'altitudine media di Miami è meno di 90 centimetri.

I costi di vivere lungo le coste

Barriere e argini potrebbero proteggere le città, ma che cosa si può fare per le centinaia di chilometri di costa? Misure convenzionali, come ripristinare le zone umide, sono inadeguate. Zone umide in grado di assorbire piccole piene non si adattano bene a coste in declivio esposte a mari aperti, e comunque non offrono protezione dalla crescita del livello del mare. L'unica opzione tecnicamente fattibile è accumulare sabbia formando un'unica duna senza fine oppure spiagge profonde ed elevate sul mare, ma non è chiaro se c'è abbastanza sabbia di qualità.

La sabbia della granulometria giusta per tenere a bada le onde, o addirittura le tempeste, si trova in piccoli depositi sul fondo dell'oceano formatisi in migliaia di anni. Le navi pompano la sabbia e la scaricano a riva. Il ripascimento delle spiagge richiede però grandi quantità di denaro e sabbia, ed è un gioco in perdita: le normali maree e tempeste dilavano continuamente la sabbia aggiunta, che si spande sul fondo marino in strati troppo sottili per essere recuperati. Nel tempo, poi, un oceano sempre più alto eroderà sempre più sabbia. «Il ripascimento delle spiagge può

tenere il passo con l'innalzamento del livello del mare per qualche decennio – dice Robert Young, geologo alla Western Carolina University ed esperto in ricostruzione delle spiagge – ma non per un secolo».

Per ora, lo US Army Corps of Engineers, che estrae e distribuisce molta della sabbia in questione, continuerà a ricostruire le spiagge ogni cinque o dieci anni. Ognuno di quegli interventi costa fra 1 e 6 milioni di dollari per chilometro. Si stanno cercando depositi di sabbia di qualità in un'estensione più vasta di oceano, ma non si sa che cosa si riuscirà a trovare. E, certamente, più ci si allontana dalla costa più caro diventa il recupero.

L'intera impresa, inoltre, diventa discutibile sul lungo periodo. Le spiagge e le isole sabbiose – che già si stanno assottigliando – migreranno lentamente verso l'interno, via via che forti maree e ondate di piena spingeranno la sabbia dall'oceano verso terra. La migrazione permette alla linea delle spiagge di ricostituirsi e rafforzarsi più indietro, formando un fronte naturale di protezione dalle tempeste. «L'unica ragione del ripascimento delle spiagge è tenere ferma la linea delle spiagge», dice Young. Ma il modo migliore per preservarla è lasciarla muovere. Nel tempo anche le barriere frangiflutti peggiorano le cose: riflettendo l'energia delle onde e bloccando la migrazione della sabbia, finiscono per farne perdere ancora di più. «L'erosione non distrugge le spiagge», dice Young. «Sono i frangiflutti e le strade a farlo, ostacolando la loro naturale rilocalizzazione».

Permettere la migrazione delle spiagge significa però che chi abita lungo le coste deve togliersi dal loro percorso. Ma ci sono incentivi che incoraggiano a rimanere nelle aree ad alto rischio, a cominciare dai fondi di assistenza post disastro: finché il Congresso continuerà ad autorizzarli, la gente continuerà a ricostruire. Il National Flood Insurance Program, programma di assicurazione nazionale contro le alluvioni, è un altro responsabile: dato che il Governo federale lo sussidia, le persone e le aziende che vivono nelle aree a rischio di inondazione non pagano neanche lontanamente il costo reale delle polizze.

I sussidi federali generano «un'economia completamente distorta», afferma Young. «È una cattiva politica fiscale e una cattiva politica federale, se vogliamo davvero adattarci al cambiamento climatico. Non dico di abbandonare le coste – aggiunge – ma chi sceglie di rimanervi deve pagare da solo».

In effetti, il programma sta iniziando a cambiare. Saranno lentamente ridotti i sussidi alle polizze, per cui il proprietario di una casa che si trova nel punto più elevato di una pianura alluvionale potrebbe pagare 800 dollari di assicurazione all'anno, contro i 25.000 di chi abita nel punto più in basso. In questo modo, gradualmente, le persone potrebbero decidere di abbandonare le aree più costose e vulnerabili.

Ma se, dopo aver eliminato i sussidi alle assicurazioni, sarà permesso ai ricchi di continuare a costruire nelle aree più basse, sia pure a loro esclusivo rischio finanziario, le municipalità sarebbero comunque costrette a fornire qualche forma di protezione pubblica durante le tempeste. In alternativa, città e Stati potrebbero comprare le proprietà ripetutamente allagate. Il governatore dello Stato di New York, Andrew Cuomo, ha detto che userà per questo tipo di acquisti 400 milioni dei fondi federali per gli aiuti post disastri naturali. Se mantenuto, diciamo, nel corso di cinquant'anni, l'acquisto di proprietà a rischio potrebbe svuotare i quartieri più vulnerabili, trasformando le aree non più abitate in un naturale cuscinetto contro le alluvioni.

Ritirarsi o nuotare

L'acquisto di proprietà a rischio anticipa la soluzione finale per proteggersi contro le tempeste: ritirarsi dalle coste. Ma convincere la gente è difficile. Consultati in proposito, i residenti delle aree più basse di Boston, che hanno subito ripetute alluvioni, hanno risposto tutti che non intendono andarsene perché, dicono, l'oceano è parte della loro identità. Rosenzweig, climatologo della Columbia University (e condirettore dell'NPCC), aggiunge che nessun piano di adattamento può avere successo «senza prendere in considerazione la voce degli abitanti dei quartieri».

Ma il ritiro sta avvenendo comunque. Gli abitanti e le case di Billingsgate Island, al largo di Cape Cod, e di Hog Island, al largo della Virginia, sono già stati trasferiti sulla terraferma da tempo. Dopo che il 7 marzo scorso una tempesta ha distrutto oltre una dozzina di case a Plum Island, a nord di Boston, i rappresentanti dello Stato del Massachusetts hanno confermato la decisione di non permettere la costruzione di frangiflutti, affermando che, nelle aree più basse, l'opzione migliore è spostare le case a elevazioni maggiori.

La migrazione delle spiagge verso l'interno permette alla linea di costa di ricostituirsi e rafforzarsi più indietro, formando un fronte naturale di protezione contro le tempeste. Ma significa che chi abita oggi lungo le spiagge deve togliersi dal loro tracciato

Jacob pensa che abbandonare le coste sia inevitabile, e che non prendere in considerazione questo fatto sia una forma di negazione del rischio. L'anagrafe di New York, però, mostra che i residenti delle aree alluvionabili della città sono in aumento. Oggi sono 400.000, e saranno circa 800.000 entro il 2050, un trend particolarmente sconcertante perché New York, a differenza di Miami, si trova in media molto al di sopra del livello del mare. Con amara ironia, Jacob osserva che «la città ha un sacco di cimiteri nei punti più elevati. Potremmo scambiare i vivi con i morti, probabilmente a questi ultimi non importerebbe».

I leader delle metropoli e delle comunità che si trovano lungo le coste orientali degli Stati Uniti (e in moltissime altre parti del mondo esposte a rischi analoghi) avranno la forza e la volontà politica di fare la scelta giusta per il lungo termine? Oppure rimanderanno le decisioni difficili, lasciando che sia la natura a farne subire le conseguenze ai futuri residenti delle loro comunità, con molte più spese e sofferenze? ■

PER APPROFONDIRE

NY-NJ Outer Harbor Gateway. Presentazione di Dennis V. Padron e Graeme Forsyth. 31 marzo 2009. Si può scaricare in formato PDF all'indirizzo **http://bit.ly/XHwUSJ.**

Climate Change Adaptation in New York City: Building a Risk Management Response. New York City Panel on Climate Change, in «Annals of the New York Academy of Sciences», Vol. 1196, maggio 2010.

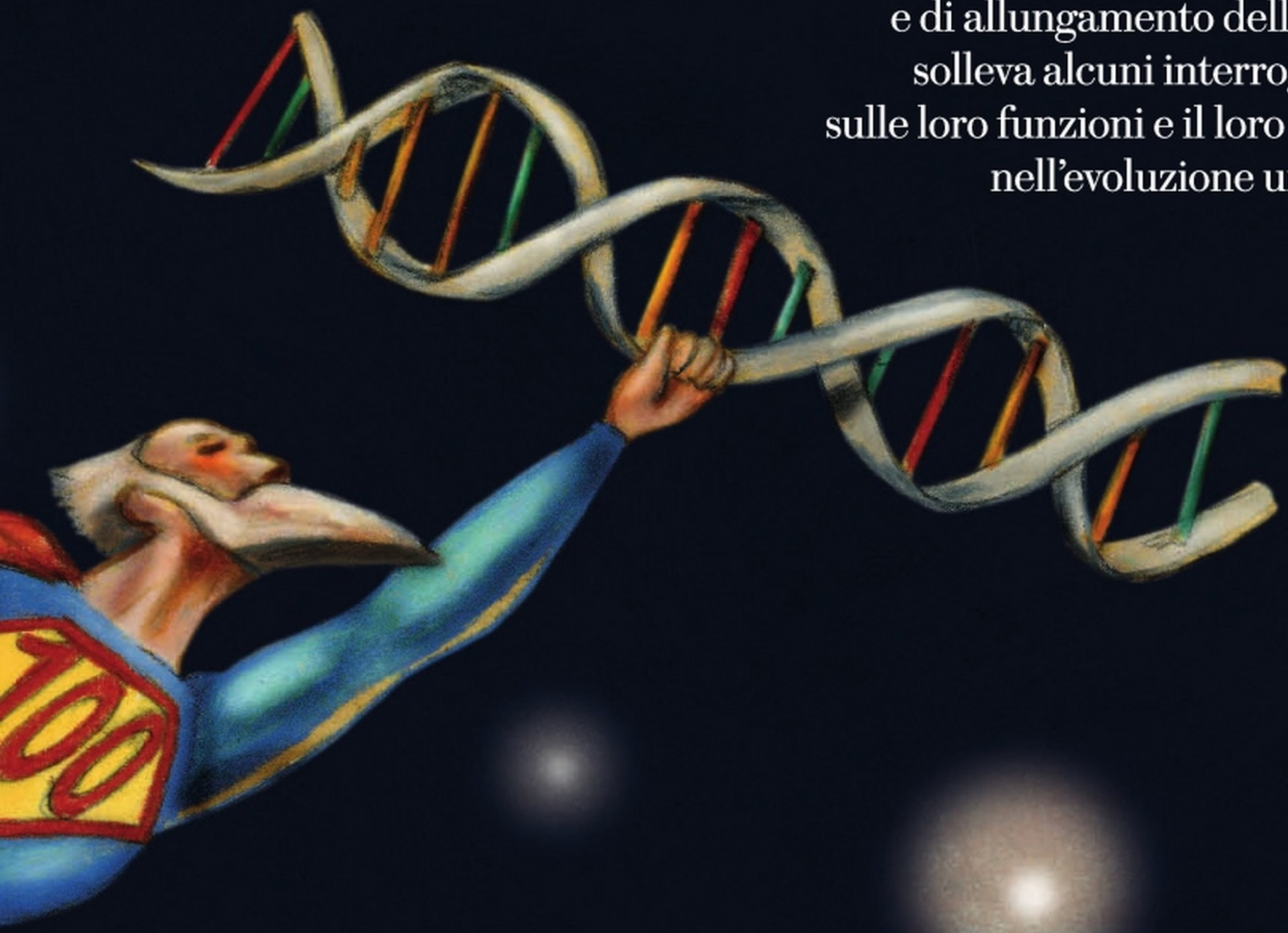
Hotspot of Accelerated Sea-Level Rise on the Atlantic Coast of North America. Asbury H. Sallenger, Jr., e alTRI, in «Nature Climate Change», Vol. 2, pagine 884-888, dicembre 2012.

GENETICA

Geni e longevità

di Pier Giuseppe Pelicci

La scoperta di geni associati ai processi di invecchiamento e di allungamento della vita solleva alcuni interrogativi sulle loro funzioni e il loro ruolo nell'evoluzione umana



IN BREVE

Negli ultimi decenni, la scoperta in molte specie, inclusi gli esseri umani, di decine di geni che causano l'invecchiamento ha portato a ipotizzare che la durata della vita sia scritta nel DNA.

Tuttavia, il fine primario per cui questi geni sono stati preservati nel corso dell'evoluzione non sarebbe l'invecchiamento, che costituirebbe invece il «prezzo» da pagare per una o più funzioni vantaggiose, che sono però ancora da stabilire.

Studi recenti indicano che la maggior parte dei «geni dell'invecchiamento» è collegata alla regolazione del metabolismo energetico, così come altri geni, che invece allungano la durata della vita.

I geni dell'invecchiamento e quelli «della longevità» potrebbero quindi far parte di un programma genetico destinato a ottimizzare l'investimento dell'energia disponibile.

Pier Giuseppe Pelicci è condirettore scientifico dell'Istituto europeo di oncologia (IEO) di Milano e professore di patologia presso l'Università degli Studi di Milano.

Non è possibile parlare di longevità senza pensare all'invecchiamento. Questi sono, infatti, strettamente collegati, e rappresentano le due facce della stessa medaglia. Volendo darne una definizione, per longevità si intende la durata superiore alla media della vita di un organismo, mentre l'invecchiamento può essere inteso come il progressivo declino della capacità dell'organismo di mantenere le funzioni biologiche e fisiologiche. E, se da una parte il desiderio dell'uomo è di vivere il più a lungo possibile, dall'altra la paura di un declino psicofisico associato allo scorrere del tempo è oggi più forte che mai.

L'invecchiamento è di certo un processo di cui tutti noi siamo pienamente consapevoli, eppure solo da poco la scienza, in particolare la biologia, se ne sta occupando. Domande quali «perché invecchiamo?» e «come invecchiamo (quali sono i meccanismi)?» hanno ricevuto risposte generiche e distratte, mescolate alla convinzione diffusa che l'invecchiamento e poi la morte siano conseguenze inevitabili dell'ostilità dell'ambiente che ci circonda e dell'effetto, ineluttabile, del tempo.

Nel 1988 un laboratorio statunitense annunciò una scoperta epocale: l'eliminazione di un unico gene nel DNA del verme *Caenorhabditis elegans* (*age-1*) provoca un allungamento della sua vita di circa il 65 per cento. Undici anni dopo, nei nostri laboratori si ottenne il medesimo risultato nel topo, con un altro gene (*p66*). L'interpretazione di questi esperimenti è sorprendente, ma inesorabile: nel patrimonio genetico del verme e del topo esistono geni che causano l'invecchiamento. In vent'anni circa, sono stati identificati decine di questi geni nei lieviti, nei vermi, nelle mosche e nei topi. Quegli stessi geni sono presenti anche nell'uomo, e non c'è ragione di pensare che abbiano una funzione diversa.

Modulare i geni

Queste scoperte hanno cambiato radicalmente il nostro modo di guardare all'invecchiamento e all'allungamento della vita. Anzitutto, sul piano pratico, hanno posto in discussione l'idea comune che la durata della vita sia fuori dal nostro controllo. Fino a pochi anni fa pensavamo che la durata della vita media della popolazione umana fosse prolungabile solo sconfiggendo le malattie e migliorando le condizioni di vita. Con questi strumenti, infatti, la vita media nei paesi occidentali è passata da 30-40 a 70-80 anni in poco più di due secoli. Era inoltre generalmente accettato che la durata massima della vita nella specie umana (100-110 anni) non fosse valicabile. Oggi è invece lecito domandarsi se e come intervenire per prolungarla.

E lo strumento è disponibile: la modulazione chimica (in pratica mediante farmaci) della funzione dei geni dell'invecchiamento. È innegabile che una simile prospettiva comporti implicazioni etiche e sociali importanti. Sul piano della fattibilità tecnica, però, questa prospettiva è percorribile, per quanto difficile. È quindi ragionevole che la società cominci a interrogarsi e a costruirsi gli strumenti etici e culturali necessari per poter fornire una risposta opportuna quando si potrà effettivamente decidere che cosa fare. In aggiunta agli aspetti etico-sociali, le scoperte descritte pongono importanti domande scientifiche, che hanno anche notevoli implicazioni culturali. L'esistenza dei geni dell'invecchiamento ci dice forse che l'invecchiamento (e, di conseguenza, la durata della vita) è «scritto» nel DNA di tutti gli esseri viventi?

Una risposta affermativa è implicita in una delle definizioni che diamo di gene. La teoria dell'evoluzione biologica afferma che ogni cambiamento genetico (ogni «nuovo gene») è selezionato (e quindi trasmesso) solo se permette la sopravvivenza dell'individuo che lo possiede e se ne aumenta la capacità di lasciare una discendenza. In altre parole, i geni contenuti nel nostro DNA giungono fino a noi nel percorso dell'evoluzione solo se hanno migliorato la capacità dei nostri predecessori di sopravvivere nel loro ambiente e di procreare. La scoperta dei geni dell'invecchiamento ci obbliga quindi a pensare che l'invecchiamento svolga una funzione importante, per la quale questi geni sono stati selezionati. Quale?

Una prima ipotesi è che la funzione dei geni dell'invecchiamento sia «esattamente» quella di farci invecchiare. Bisogna chiedersi però come questo possa costituire un vantaggio evolutivo. Alcuni scienziati pensano che l'invecchiamento, seppure negativo per il singolo individuo, sia un bene per la specie, e perciò possa essere favorito dalla selezione naturale. Il loro ragionamento è semplice: l'invecchiamento porterebbe alla morte gli individui più vecchi e creerebbe così spazio per i nuovi arrivati. E soprattutto gli individui vecchi, che non possono più riprodursi (e sono quindi «inutili» dal punto di vista evoluzionistico) non competerebbero per le risorse (in natura per definizione scarse) con gli individui più giovani e capaci di riprodursi.

Funzioni apparenti e funzioni reali

Questa ipotesi, nonostante il pregio della semplicità e una certa coerenza, è improbabile. In natura l'invecchiamento è un evento poco frequente, e quindi non può funzionare per la riduzione del numero degli individui in una popolazione. Gli animali, infatti, muoiono per cause estrinseche (predazione, freddo, digiuno, malattie, incidenti) e non hanno «tempo» di invecchiare. Ma anche se l'invecchiamento svolgesse qualche funzione positiva, in ogni caso l'evoluzione non riuscirebbe a «operare» sui geni che lo causano perché questi diventano attivi dopo l'età della riproduzione,

Alberto Ruggieri/ Illustration Works/Corbis (*pagine precedenti*)

THE FUTURE OF SCIENCE

Esperti a Venezia

Alla longevità e ai suoi segreti è dedicata la nona edizione della conferenza mondiale *The Future of Science*, che vedrà riuniti sull'Isola di San Giorgio a Venezia, dal 19 al 21 settembre, alcuni dei maggiori esperti internazionali per discutere dei temi più rilevanti legati all'allungamento della vita secondo punti di vista e ambiti disciplinari diversi, dalla genetica alle neuroscienze all'economia. Tra gli argomenti al centro dell'incontro, oltre a quelli affrontati in queste pagine, i partecipanti discuteranno di come affrontare, ed eventualmente invertire, il declino cognitivo associato all'invecchiamento, trasformando l'aumento della durata media della vita da problema sanitario a risorsa sociale.

The Future of Science (www.thefutureofscience.org) è un ciclo di conferenze internazionali annuali organizzate a partire dal 2005 dalla Fondazione Umberto Veronesi, dalla Fondazione Silvio Tronchetti Provera e dalla Fondazione Giorgio Cini. L'iniziativa parte dalla constatazione che, a dispetto dell'indiscutibile rilevanza dei progressi scientifici e tecnologici sulla nostra vita e sulla società nel suo complesso, le informazioni e il dibattito intorno a questi progressi e alle loro conseguenze sociali, economiche e culturali sono ancora gravemente insufficienti. (*cb*)

e quindi in un momento in cui non c'è più possibilità di selezione. Siamo quindi davanti a un problema. Apparentemente la teoria dell'evoluzione non rende pienamente conto dell'esistenza dei geni dell'invecchiamento. E tuttavia questi geni esistono.

Sembrano esserci solo due possibilità. O ci liberiamo della teoria dell'evoluzione, o dei geni dell'invecchiamento. Non potendoci liberare dei «geni» (come detto, essi esistono), né *sic et simpliciter* della teoria dell'evoluzione (è una delle teorie scientifiche più corroborate empiricamente) non ci rimane che liberarci della loro funzione (l'invecchiamento). Possiamo assumere che i «geni dell'invecchiamento» (le virgolette indicano ora che il nome non è appropriato) svolgano in realtà funzioni utili per l'individuo giovane (e quindi siano selezionabili dall'evoluzione) e che solo dopo la fine dell'età riproduttiva (quando cioè l'evoluzione non li «vede» più) diventino «dannosi», causando invecchiamento. Il

Cultura/Liam Norris/Getty Images

che equivale a dire che l'invecchiamento non è il fine primario dei «geni dell'invecchiamento», ma rappresenta un prodotto secondario, una sorta di prezzo da pagare, per un'altra funzione che l'evoluzione ha selezionato per il bene della nostra specie.

La domanda diventa quindi: «Qual è la funzione per la quale paghiamo un prezzo così caro (o che ci sembra così caro)?» O, in altre parole: «A cosa servono *veramente* i «geni dell'invecchiamento?». Rispondere a questa domanda è più complicato. Le modalità (i meccanismi molecolari) del processo d'invecchiamento sono numerose e diverse fra loro (mutazioni del DNA, alterazioni dei mitocondri e del metabolismo energetico, perdita dell'integrità dei telomeri, alterazioni del ricambio delle proteine, alterazioni del sistema immunitario, senescenza e morte cellulare e così via). Ci dobbiamo quindi chiedere: «Quali sono le funzioni (plurale) per le quali paghiamo un prezzo così alto?». Farò due esempi che conosco meglio di altri.

Il primo esempio riguarda il mantenimento dell'integrità dei nostri tessuti, basato sulla continua sostituzione delle cellule che hanno terminato il loro ciclo funzionale. Per farlo, le cellule madri dei vari tessuti (cellule staminali e progenitori) si dividono continuamente, esponendosi al rischio di accumulare danni del DNA e quindi dare origine a tumori. Per far fronte a un simile rischio, l'evoluzione ha selezionato una famiglia di geni (i geni soppressori dei tumori, o anche oncosoppressori) che, ogni volta che il DNA di una cellula si danneggia in modo irreparabile, inducono la morte della cellula stessa. Il protrarsi nel tempo di questo meccanismo conduce inevitabilmente alla perdita di cellule nei vari tessuti e a una riduzione delle loro funzioni, contribuendo all'invecchiamento dell'individuo. Infatti, se aumentiamo artificialmente l'attività di uno di questi geni in un topo, l'animale invecchia precocemente. I geni soppressori dei tumori quindi, sono anche «geni dell'invecchiamento», e l'invecchiamento (o almeno la riduzione dell'integrità dei tessuti) è il prezzo che paghiamo per difenderci dall'insorgenza dei tumori.

Un secondo esempio è rappresentato dai radicali dell'ossigeno. Alcune di queste molecole svolgono un ruolo importante nella fisiologia cellulare, permettendo alle cellule di crescere (sono molecole che chiamiamo *trasduttori di segnale*) e la loro produzione è legata all'attività di proteine codificate da specifici geni. Sfortunatamente, però, i radicali dell'ossigeno sono anche tossici, e causa-

Le conseguenze economiche della longevità

Nei paesi economicamente avanzati l'aspettativa di vita per un individuo vivente di 65 anni è aumentata di quattro ore al giorno per ogni giorno che è passato negli ultimi trent'anni. La figura nella pagina a fronte, che riporta l'andamento dell'aspettativa di vita di un individuo vivente a 65 anni nel periodo 1965-2050, mostra che l'Italia non fa eccezione: nel trentennio 1980-2010 l'aspettativa di vita a 65 anni è passata da 15 a 20 anni. Il grafico contiene dati osservati fino al 2011 e previsioni per il futuro dal 2012 in poi.

Le previsioni per il futuro, basate sulla stima sui dati italiani del modello di mortalità più diffuso in ambito demografico (Lee-Carter, 1992), indicano una continuazione di questo trend, soggetta però a una notevole incertezza. La proiezione del modello al 2050 genera un'aspettativa di vita a 65 anni caratterizzata da una media di circa 30 anni. L'intervallo all'interno del quale si può collocare l'aspettativa di vita a 65 anni nel 2050, con una probabilità del 95 per cento, va da un minimo di 23 anni ad un massimo di 37.

L'aumento della vita attesa in fase matura e l'incertezza a esso associata hanno importanti conseguenze economiche legate alle scelte di risparmio degli individui.

Per comprendere le scelte di risparmio degli agenti economici è sufficiente dividere la vita in tre periodi: la fase pre-lavorativa, la fase lavorativa e la fase pensionistica. Dato che gli individui possono risparmiare solo nella fase lavorativa, un aumento dell'aspettativa di vita, in assenza di una dinamica di natalità o di flussi migratori compensatori, comporta un invecchiamento della popolazione e una diversa dinamica di consumi e risparmi.

Una popolazione che invecchia produce minori flussi di risparmio e richiede maggiori esborsi da parte del sistema pensionistico. I sistemi pensionistici moderni, basati sul metodo a contribuzione, raccolgono fondi durante la vita lavorativa degli individui per creare un capitale sufficiente a garantire una pensione per un periodo di anni pari alla durata attesa della vita. Se la durata effettiva della vita risulta superiore a quella attesa dal sistema pensionistico, si concretizza il rischio che il sistema rimanga senza fondi e gli individui non possano sostenere i loro consumi in età avanzata.

Nella misura in cui l'allungamento della vita attesa è un fenomeno generalizzato che riguarda tutta la popolazione, il «rischio di longevità» diventa più pernicioso perché non diversificabile.

Le deviazioni della lunghezza della vita dei singoli individui dal trend che coinvolge tutta la popolazione costituiscono un rischio diversificabile e quindi neutralizzabile.

Il rischio che alcuni individui vivano più a lungo della media della popolazione è compensato, in un sistema pensionistico che coinvolge molti individui con caratteristiche diverse, da deviazioni di segno opposto che si verificano per altri individui. Ma un rischio di longevità che risulta da un trend comune a tutti gli individui, per cui non si verificano variazioni compensatorie, non è diversificabile e diventa sistemico.

Come tutelare il sistema dal rischio che gli individui vivano troppo a lungo rispetto ai risparmi accumulati nella fase lavorativa della loro vita? L'indicizzazione del sistema pensionistico alla longevità è la soluzione del problema. L'idea è quella di non fissare l'età della pensione ma di ancorare la pensione alle aspettative di vita all'età pensionabile: non si va in pensione a 65 anni ma piuttosto quando l'aspettativa di vita residua è di 20 anni. Questa regola implica un'età pensionabile di 65 anni al giorno d'oggi, che diventerebbe, sulla base delle proiezioni del modello di Lee-Carter, di 70 anni nel 2030 e di 75 anni nel 2050.

no danni al DNA e alle proteine, provocando il cosiddetto stress ossidativo. L'aumento dello stress ossidativo, nel tempo, causa invecchiamento (anche nella specie umana) ed è stato osservato che la disattivazione dei geni coinvolti nella produzione dei radicali dell'ossigeno prolunga la vita nell'animale da laboratorio.

Sembrerebbe quindi che l'invecchiamento sia la conseguenza «sfortunata» dell'attività di geni che svolgono invece «nobili» funzioni per la specie. La somma di una lunga serie di distrazioni dell'evoluzione, in assenza di un programma che si occupi attivamente della durata della vita.

Il ruolo della dieta

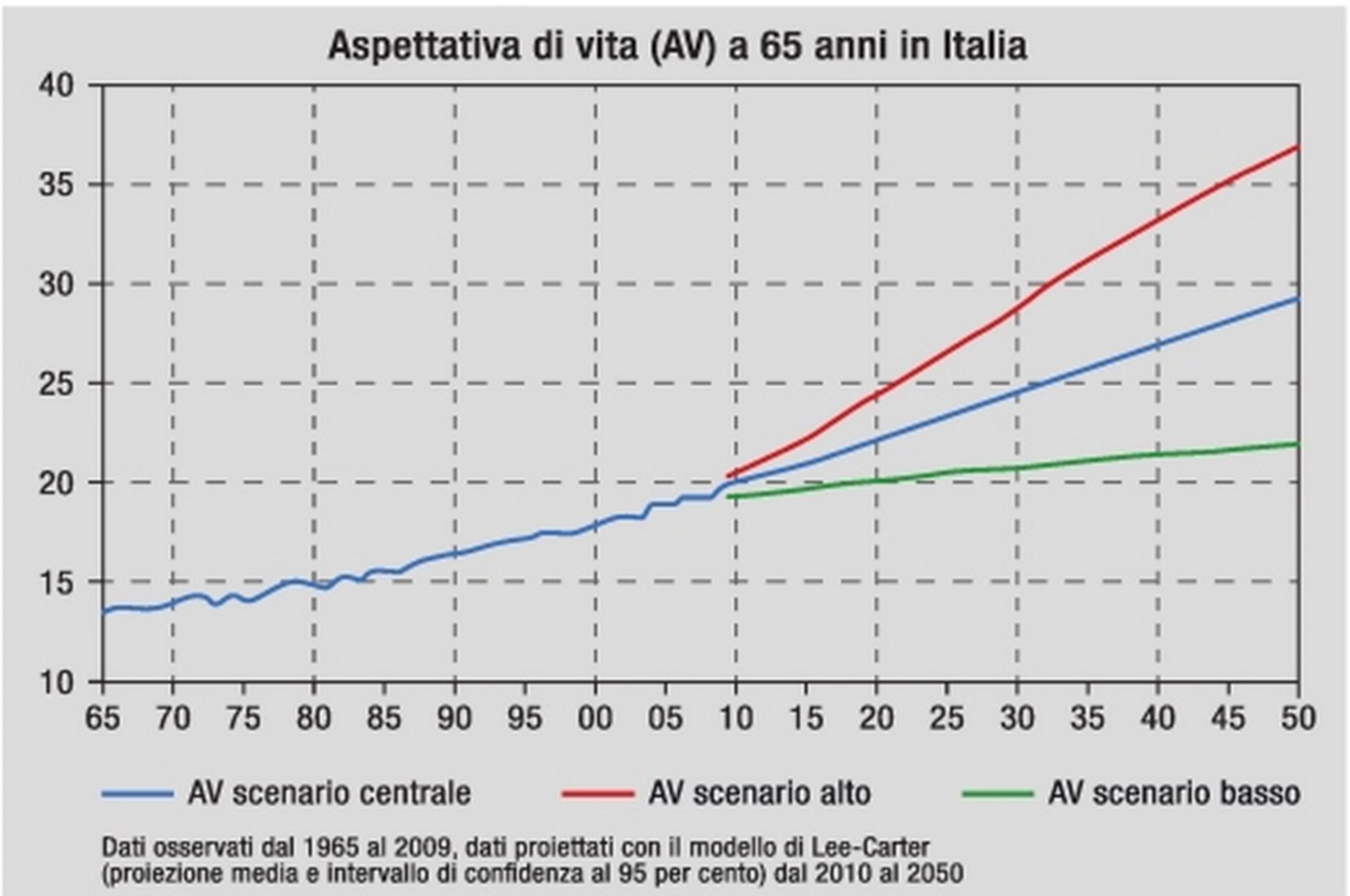
Alcune recenti scoperte suggeriscono che le cose non stanno esattamente così. Lo studio della loro funzione ha dimostrato che la maggior parte dei «geni dell'invecchiamento» (forse tutti, e in tutte le specie) è coinvolta nella regolazione dell'insulina e dei suoi effetti sui tessuti. L'insulina è un ormone essenziale per la regolazione del metabolismo energetico: «registra» la quantità di nutrienti che assumiamo con la dieta e «decide» come usarli per la produzione d'energia. È possibile quindi che la disponibilità di cibo, l'allocazione dell'energia disponibile e l'invecchiamento siano strettamente collegati. Ma come?

Una dieta a basso contenuto calorico (non tale però da indurre malnutrizione) prolunga la durata della vita in tutte le specie ove è stato condotto questo tipo d'esperimento (compresa la scimmia, che è molto vicina all'uomo). Nel topo, per esempio, la restrizione calorica comporta una riduzione dell'incidenza di molte malattie (compresi il cancro, le malattie autoimmuni e varie malattie degenerative) e un prolungamento della vita di più del 40 per cento. Studi simili sono ora in corso nell'uomo con risultati preliminari che vanno nella medesima direzione. Sorprendentemente gli animali sottoposti a dieta ipocalorica migliorano i sistemi di riparazione del danno (a carico del DNA e delle proteine) e di difesa dai radicali dell'ossigeno, ma sono meno fertili.

Nel 1999 è stata scoperta una famiglia di geni con una funzione opposta a quella dei «geni dell'invecchiamento» (geni per le sirtuine, tra cui *Sirt1*). L'attivazione di questi geni, infatti, prolunga la durata della vita nel lievito, nella mosca e nel verme (nei mammiferi avrebbero la medesima funzione, ma gli esperimenti definitivi devono ancora essere terminati). Sorprendentemente la dieta ipocalorica aumenta l'attività di questi geni («geni della longevità»). Inoltre la loro inattivazione artificiale annulla l'effetto della dieta sulla longevità. Esistono prodotti naturali, come per esempio il resveratrolo contenuto nel vino rosso, che attivano questi geni. Ebbene, il trattamento con questi prodotti prolunga ugualmente la durata della vita negli animali da laboratorio.

Ottimizzare l'energia

In sintesi, queste scoperte suggeriscono che un problema centrale per tutti gli organismi è stato, durante l'evoluzione, quello di elaborare un programma genetico per scegliere come ottimizzare l'investimento dell'energia disponibile. Nei periodi di scarsità di cibo entrerebbero in gioco i geni della longevità, che «imporrebbero» di sfruttare tutta l'energia disponibile per il mantenimento dell'integrità del corpo, prolungando la durata della vita. Ciò andrebbe a discapito di funzioni altrettanto dispendiose energetica-



Dati osservati dal 1965 al 2009, dati proiettati con il modello di Lee-Carter (proiezione media e intervallo di confidenza al 95 per cento) dal 2010 al 2050

adottate nei confronti di coloro i quali adottano abitudini che riducono la loro aspettativa di vita (per esempio, i fumatori).

L'analisi delle implicazioni economiche della longevità per i sistemi pensionistici illustra l'importanza di considerare la dinamica della struttura per età della popolazione nei modelli economici e nel disegno delle politiche economiche.

Il collegamento tra economia e demografia dipende dalle decisioni di risparmio degli individui nel loro ciclo di vita e dalle implicazioni aggregate delle scelte individuali. L'interrelazione ha un'importanza pervasiva in economia che va oltre al disegno dei sistemi pensionistici e che coinvolge l'andamento dei mercati finanziari, attraverso la relazioni tra flussi di risparmio e prezzi delle attività finanziari, e i flussi internazionali di capitali, attraverso la relazione tra l'eccesso del risparmio rispetto all'investimento di ogni paese e la sua bilancia dei pagamenti.

La comprensione dei trend persistenti e delle fluttuazioni a bassa frequenza delle variabili economiche e finanziarie richiede un'analisi interdisciplinare che tenga conto delle risposte agli incentivi economici e delle componenti demografiche che caratterizzano la composizione per età della popolazione delle diverse aree del mondo.

Carlo A. Favero e Vittoria Favero

La garanzia della stabilità del sistema non è di facile implementazione. Infatti l'indicizzazione impone costi immediati a carico delle generazioni lavorative (e votanti) attuali, che vengono compensati dai benefici, derivanti dall'evitare la bancarotta, per le generazioni future (non ancora nate e quindi non votanti). Inoltre l'indicizzazione dell'età pensionabile al trend di mortalità comune non permette di riconoscere automaticamente età di pensionamento eterogenee tra le diverse occupazioni. Questa caratteristica sarebbe iniqua qualora la lunghezza e la qualità della vita in età pensionabile fosse diversa a seconda delle diverse professioni intraprese dagli individui nel corso della loro vita lavorativa.

Infine, forme di tassazione occulta sarebbero

mente, quali la riproduzione, ma consentirebbe di sopravvivere attendendo tempi migliori.

Al contrario, quando il cibo è disponibile si attiverebbero quelli che chiamiamo «geni dell'invecchiamento», i quali «imporrebbero» l'utso di tutta l'energia disponibile per la procreazione e per il mantenimento dell'immortalità della specie, a discapito del mantenimento dell'integrità del corpo.

A sostegno di questa ipotesi il nostro gruppo ha recentemente condoto uno studio che dimostra qual è, probabilmente, la funzione dei geni dell'invecchiamento. Un gruppo di topi ai quali è stato «tolto» un gene dell'invecchiamento (*p66*) è stato mantenuto nei nostri stabulari per sei mesi. Al termine i topi sono stati divisi in due gruppi. Un primo gruppo è stato tenuto negli stabulari e gli animali sono stati osservati per il resto della loro vita. Come già sapevamo, i topi senza *p66* sono vissuti più a lungo dei topi normali (circa il 30 per cento). Il secondo gruppo di topi senza *p66* è stato trasferito in Siberia, dove c'è l'unico stabulario all'aperto al mondo. In quell'habitat i topi sono esposti a basse temperature (fino a –20 gradi Celsius in inverno) e a scarsità di cibo, ma sopravvivono. Sorprendentemente nessuno dei topi senza *p66* è sopravvissuto all'inverno.

L'esperimento dimostra che il gene dell'invecchiamento *p66* è indispensabile per sopravvivere in un ambiente ostile (scarso cibo, basse temperature, come l'ambiente in cui si è sviluppata la vita), mentre è responsabile dell'invecchiamento in un ambiente protetto (come quello dei nostri stabulari). Di più, questo esperimento suggerisce che se annullassimo la funzione di *p66* nella specie umana, che è ormai adattata a vivere in un ambiente protetto, potremmo sperare di combattere l'invecchiamento, senza correre altri rischi.

È quindi improprio pensare che l'invecchiamento sia scritto nel nostro DNA. Al contrario. Il DNA contiene probabilmente solo geni (programmi) che garantiscono la longevità dell'individuo e l'immortalità della specie. Ed è forse vero che l'invecchiamento è il prezzo che paghiamo per l'immortalità della specie. Sicuramente, però, la specie umana (sfortunatamente, per ora solo una piccola parte di essa) si è svincolata dalla dipendenza quotidiana dalle fonti di energia biologica. E questo rappresenta, per noi, un'opportunità formidabile. Per esempio possiamo pensare a farmaci che inibiscono i geni dell'invecchiamento» o attivano quelli della longevità senza l'incognita di quali potrebbero essere i loro effetti negativi obbligatori.

Per ora, sfortunatamente, abbiamo colto questa opportunità solamente in una direzione: abbiamo deciso di sovra-alimentarci e di accorciare la durata della nostra vita. ■

PER APPROFONDIRE

A mutation in the age-1 gene in Caenorhabditis elegans lengthens life and reduces hermaphrodite fertility. Friedman D.B. e Johnson T.E., in «Genetics», n. 118, gennaio 1988.

The p66shc adaptor protein controls oxidative stress response and life span in mammals. Migliaccio E., Giorgio M., Mele S., Pelicci G., Reboldi P., Pandolfi P.P., Lanfrancone L. e Pelicci P.G., in «Nature», n. 402, 18 novembre 1999.

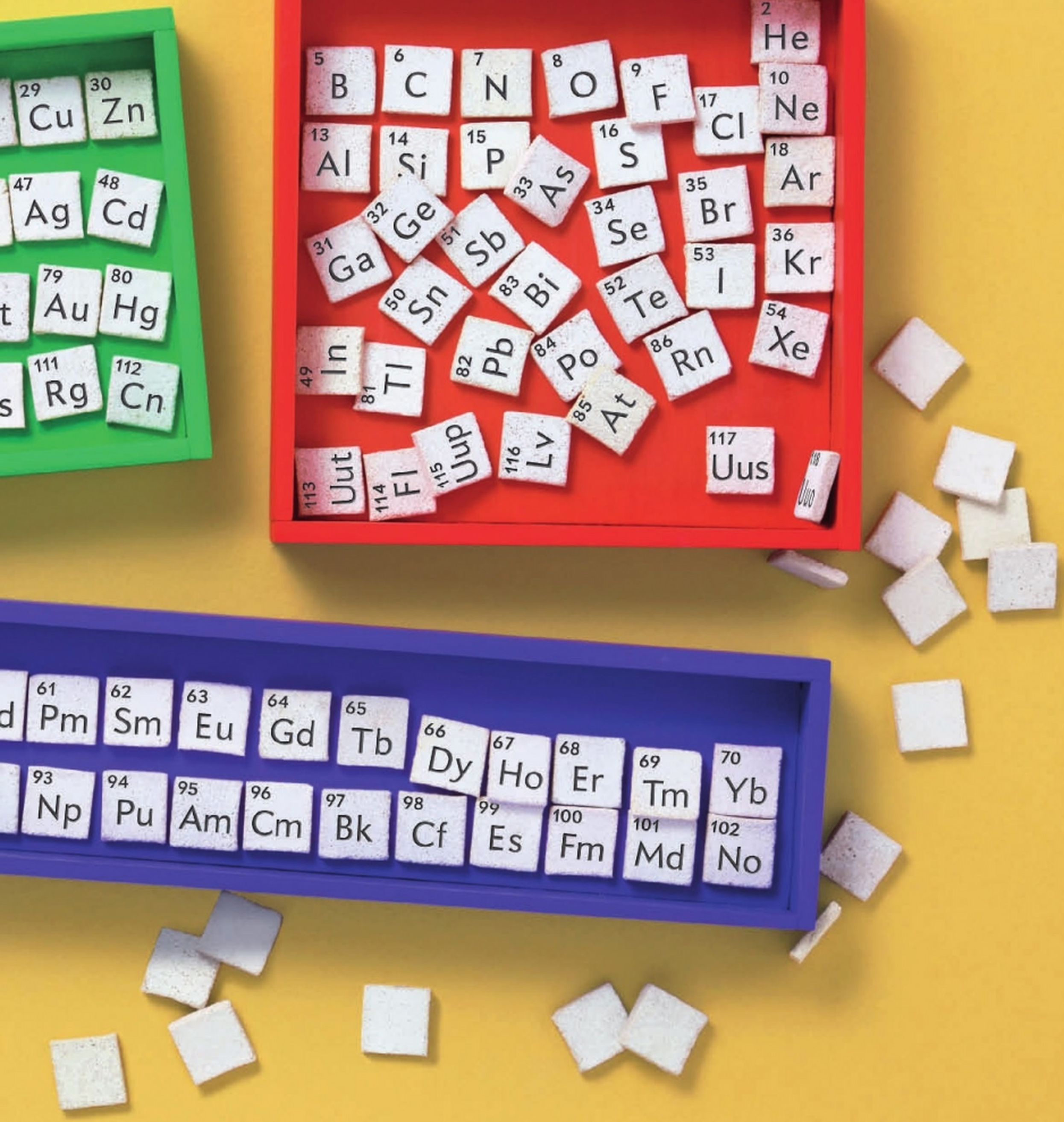
The SIR2/3/4 complex and SIR2 alone promote longevity in Saccharomyces cerevisiae by two different mechanisms. Kaeberlein M., McVey M. e Guarente L., in « Genes & Development», n. 13, ottobre 1999.

CHIMICA

Crepe nella tavola periodica

La scoperta dell'elemento 117 ha riempito l'ultima posizione vuota nella tavola periodica degli elementi. Tuttavia, anche se è stata completata, potrebbe perdere il suo potere predittivo

di Eric Scerri



Fotografia di Holly Lindem

Eric Scerri è storico e filosofo della chimica all'Università della California a Los Angeles. Ha ottenuto un PhD al King's College dell'Università di Londra. Il suo ultimo libro si intitola *A Tale of Seven Elements* (Oxford University Press, 2013).

Nel 2010, ricercatori russi hanno annunciato di aver sintetizzato per la prima volta nuclei dell'elemento 117. Questo nuovo atomo non ha ancora un nome, perché di solito la comunità scientifica attende una conferma indipendente prima di battezzare un nuovo elemento. Ma, salvo sorprese, il 117 ha ormai occupato il suo posto permanente nella tavola periodica degli elementi.

Tutti gli elementi fino al 116, più l'elemento 118, erano già stati scoperti, e il 117 ha riempito l'ultima casella vuota rimasta nella riga più in basso. Questo risultato segna un traguardo storico. Quando Dmitrij Mendeleev – anche lui russo – e altri crearono la tavola periodica, negli anni sessanta del XIX secolo, fu il primo grandioso schema a organizzare tutti gli elementi conosciuti a quell'epoca. Mendeleev lasciò diverse posizioni vuote nella sua tavola, e fece l'audace previsione secondo cui un giorno sarebbero stati scoperti nuovi elementi che avrebbero riempito quelle posizioni. Da allora sono seguite numerose revisioni della tavola, ma fino a oggi tutte avevano lacune. Con l'elemento 117, per la prima volta la tavola periodica è completa.

Probabilmente il fantasma di Mendeleev starà festeggiando il trionfo della sua profezia, almeno fino a quando chimici e fisici nucleari non sintetizzeranno nuovi elementi che obbligheranno ad aggiungere nuove righe alla tavola periodica, forse lasciandosi dietro qualche posizione vuota.

Ma proprio quando gli ultimi pezzi del puzzle stavano per andare al loro posto, qualcosa di più fondamentale iniziava ad andare storto. E potrebbe compromettere la stessa ragion d'essere della tavola periodica: la ciclica ricorrenza di proprietà che dà alla tavola il suo nome.

Mendeleev non si limitò a prevedere l'esistenza di elementi che dovevano ancora essere osservati, ma riuscì addirittura ad anticiparne correttamente le proprietà chimiche, basandosi proprio su quelle ricorrenze. Ma quando il numero atomico (il numero di protoni del nucleo) è arrivato a valori elevati, alcuni dei nuovi elementi aggiunti non si sono più comportati come richiede la tavola periodica; vale a dire, le loro interazioni chimiche, come il tipo di legame formato con altri atomi, non somigliano a quelle degli altri elementi della stessa colonna sulla tavola periodica. La ragione è che alcuni degli elettroni in orbita attorno ai nuclei più massicci raggiungono velocità prossime a quella della luce. Nel gergo dei fisici diventano particelle «relativistiche», e di conseguenza gli atomi si comportano diversamente da quanto suggerirebbe la loro posizione nella tavola. Inoltre, prevedere esattamente la struttura orbitale di ciascun atomo è assai complicato. Quindi proprio ora che l'opera di Mendeleev è completa e se ne potrebbe celebrare il successo, rischia di perdere il suo potere esplicativo e predittivo.

Un successo completo

Fino a oggi sono state pubblicate oltre 1000 versioni della tavola periodica, diverse sia per la disposizione sia per la scelta degli elementi inclusi, che però hanno tutte una caratteristica comune. Se si ordinano gli elementi in modo sequenziale in base al numero atomico (i primi tentativi usavano il peso atomico), le loro proprietà chimiche tendono a ripetersi dopo una particolare sequenza di elementi. Per esempio, se iniziamo con il litio e ci muoviamo di otto posti in avanti raggiungiamo il sodio, che ha molte proprietà simili: entrambi sono metalli abbastanza morbidi da essere tagliati con un coltello ed entrambi reagiscono facilmente con l'acqua. Se ci spostiamo di altri otto posti, raggiungiamo il potassio, morbido anch'esso e reattivo con l'acqua, e così via.

Nelle prime tavole periodiche, incluse quelle elaborate da Mendeleev ma anche da altri, la lunghezza di ciascun periodo – e dunque la lunghezza di ogni riga – era sempre di otto posti.

Presto però fu chiaro che il quarto e il quinto periodo si ripetevano non dopo otto, ma dopo 18 elementi. Di conseguenza la quarta e la quinta riga della tavola divennero più lunghe delle precedenti per far posto al nuovo blocco (i metalli di transizione, che nella rappresentazione più comune della tavola periodica

IN BREVE

La scoperta dell'elemento 117 nel 2010 ha completato per la prima volta la tavola periodica come la conosciamo, almeno fino a quando nuove scoperte obbligheranno i chimici a estenderla aggiungendo una nuova riga.

Alcuni elementi aggiunti di recente, però, potrebbero mostrare un comportamento chimico diverso dagli elementi della stessa colonna, violando la legge periodica che ha definito la tavola per un secolo e mezzo.

Il sorprendente comportamento potrebbe derivare dagli effetti descritti dalla teoria della relatività ristretta, che provoca una contrazione delle dimensioni dell'orbita di alcuni elettroni, oltre ad altri effetti.

I fisici nucleari continueranno a sintetizzare nuovi elementi, che avranno nuovi tipi di orbitali elettronici, e cercheranno di capirne il comportamento chimico studiando piccole quantità di atomi che hanno vita assai breve.

Un laboratorio di meraviglie in crescita continua

La tavola periodica classifica gli elementi secondo le caratteristiche ricorrenti delle loro proprietà chimiche. Queste proprietà sono determinate dalle orbite degli elettroni attorno al nucleo, gli «orbitali», e in particolar modo dagli orbitali più esterni. Passando dai numeri atomici più bassi a quelli più elevati, la struttura dell'orbitale esterno cambia seguendo una regola ricorrente, o «periodica».

Per esempio, gli elementi tra il 5 e il 10 hanno orbitali esterni di una famiglia detta *p*, e questo si ripete per gli elementi dal 13 al 18. Tutti questi elementi quindi appartengono allo stesso «blocco *p*» (*in blu*).

Nuovi elementi, nuovi blocchi

Questa forma della tavola periodica è stata ideata dal chimico Charles Janet. La sua riga più in basso sarà completa con la scoperta degli elementi 119 e 120, i cui orbitali più esterni sono di tipo *s*. L'elemento 121 sarà il primo ad avere orbitali di una nuova famiglia, denominata «tipo *g*», e quindi sarà necessario un nuovo blocco per fargli posto (*in basso a sinistra*).

Ogni due periodi, e dunque ogni due righe nella tavola, compare una nuova famiglia di orbitali elettronici. A destra sono mostrati esempi di forme di orbitali, uno per ciascuna famiglia.

si trovano nel mezzo). Il sesto periodo si rivelò ancora più lungo, tanto da includere 32 elementi a causa della scoperta di una nuova serie di 14 elementi chiamati lantanidi e recentemente ribattezzati lantanoidi.

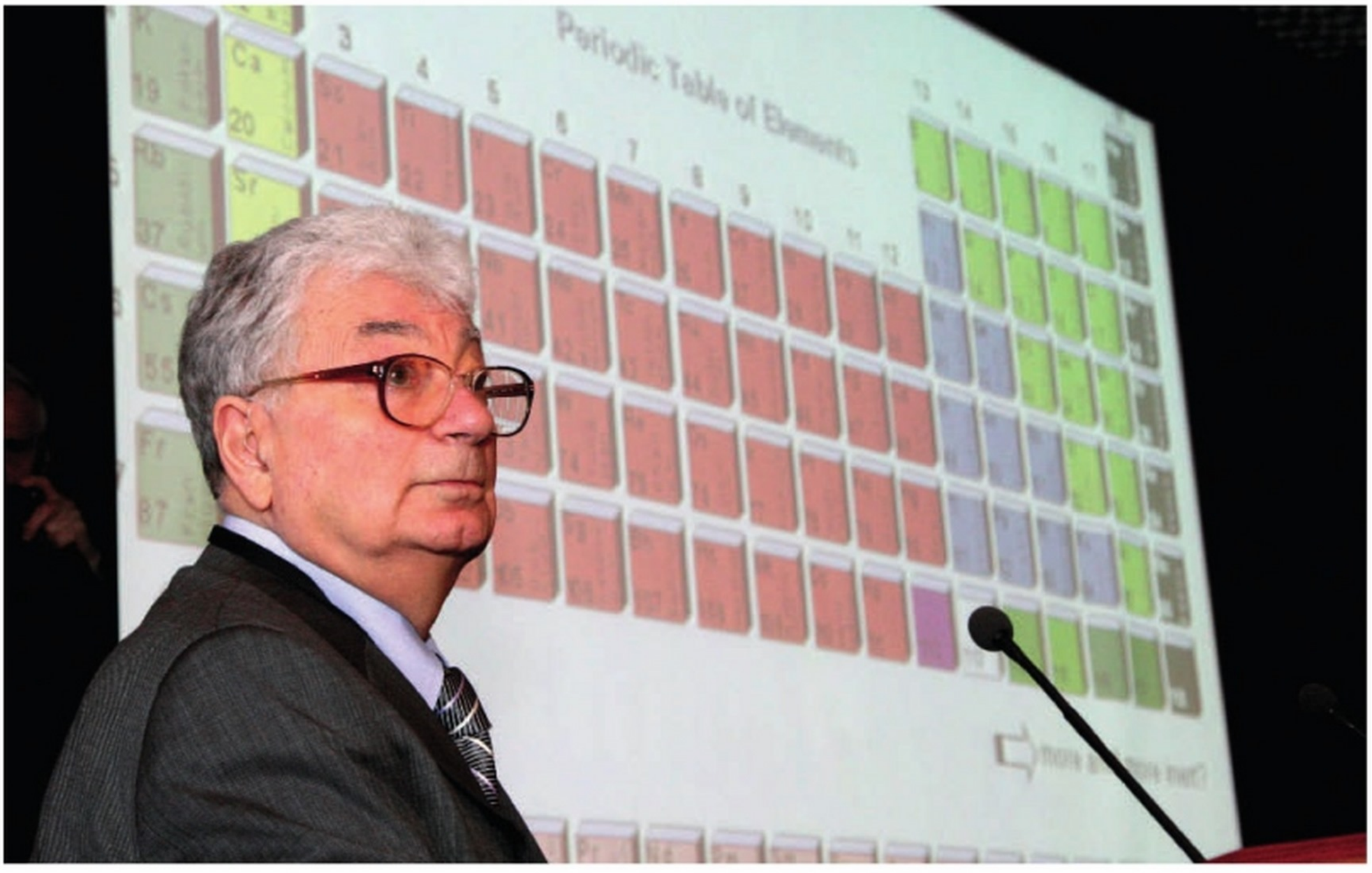
Nel 1937 i fisici nucleari iniziarono a sintetizzare nuovi elementi, a partire dal tecnezio. Questo elemento occupava una delle quattro posizioni vuote nella tavola nota all'epoca, che andava dall'1 (idrogeno) al 92 (uranio). Gli altri tre pezzi mancanti arrivarono presto: due furono sintetizzati (astato e promezio) e il terzo fu scoperto in natura (il francio). Ma anche se queste lacune erano state colmate, alla tavola periodica oltre l'uranio vennero aggiunte nuove scoperte, lasciando vuote nuove posizioni.

Il chimico statunitense Glenn Seaborg capì che attinio, torio e protoattinio, insieme all'uranio e ai dieci elementi successivi, erano parte di un'altra serie di 14 elementi, che vennero chiamati attinidi o attinoidi (Dato che gli elementi in più in queste due serie renderebbero la tavola ancora più larga, le tavole periodiche standard mostrano le due serie da 14 elementi in un blocco separato nella parte più bassa).

Nella prima metà del XX secolo gli scienziati capirono che la periodicità degli elementi affonda le radici nella fisica quantistica e, in particolare, nella fisica degli elettroni che orbitano attorno al nucleo. Le orbite degli elettroni sono un insieme discreto per forma e dimensioni. Atomi con numeri atomici più grandi hanno lo stesso tipo di orbite, od «orbitali», di quelli con numero atomico più piccolo, a cui però se ne aggiungono altri di tipo diverso. Il primo periodo ha solo quelli di tipo 1, denominati *s*, che possono essere occupati da uno o due elettroni (uno per l'idrogeno, due per l'elio). Il secondo e il terzo periodo hanno ciascuno un ulteriore orbitale di tipo *s*, più tre orbitali di un nuovo tipo, detto *p*. A sua volta, ciascuno di questi quattro orbitali può essere occupato da uno o due elettroni, per un numero totale massimo di otto elettroni, da cui emerge la periodicità di otto posti nella versione originaria della tavola. Il quarto e il quinto periodo hanno, oltre al tipo *s* e *p*, un terzo tipo, *d*, che aggiunge altri dieci posti per gli elettroni e dunque allunga il periodo fino a 18. Infine, gli ultimi due cicli hanno orbitali di tipo *s*, *p*, *d* e *f*, per una lunghezza di 32 elementi (18 più 14).

Quando Yuri Oganessian e collaboratori, dell'Istituto per la ricerca nucleare vicino Mosca, hanno annunciato di aver sintetizzato l'inafferrabile elemento 117, tutti gli elementi dell'ultima riga erano finalmente al proprio posto. Il collegamento profondo tra la struttura della tavola e la struttura degli atomi implica che il completamento della tavola non sia una questione meramente estetica o di organizzazione scritta dell'informazione. L'elemento 118 è l'unico che ha tutti gli orbitali *s*, *p*, *d* e *f* riempiti dagli elettroni. Se verranno sintetizzati altri elementi, occuperanno una nuova riga della tavola. Quasi certamente il prossimo sarà l'elemento 119 (*si veda il box in questa pagina*), che inizierà un nuovo ciclo a partire dall'orbitale più semplice, di tipo *s*. L'elemento 119 e il successivo 120 occuperanno i primi due posti nel nuovo periodo, l'ottavo. Ma con l'elemento 121 si renderebbe necessario un intero bloc-

Jen Christiansen



Yuri Oganessian ha guidato il gruppo che ha prodotto l'elemento 117 e ora cerca di sintetizzare il prossimo nuovo elemento, il 119.

co in più, almeno in linea di principio, che conterrà orbitali mai osservati finora: gli orbitali *g*. Come nei casi precedenti, i nuovi tipi di orbitali aumenterebbero le possibilità per gli elettroni, e dunque farebbero crescere il numero di colonne. Questo blocco di elementi sarebbe composto da 50 colonne (sebbene i chimici abbiano già individuato modalità più compatte di rappresentare una tavola così ampia).

La tavola completa, con tutte le sue righe riempite, sembrerebbe la realizzazione finale del sogno di Mendeleev. E avrebbe potuto esserlo sul serio, se non fosse stato per Albert Einstein e la sua teoria della relatività ristretta.

Andare in crisi

Quando ci spostiamo da piccoli a grandi numeri atomici, la carica nucleare aumenta a causa dei protoni in più. Con l'aumento della carica nucleare cresce anche la velocità degli elettroni negli orbitali interni, al punto che la teoria speciale della relatività inizia ad avere un ruolo più importante nella spiegazione del loro comportamento. Questo effetto provoca una contrazione delle dimensioni degli orbitali più interni e li rende più stabili. Il restringimento ha un effetto a cascata sugli altri orbitali *s* e *p*, che si contraggono anch'essi, inclusi gli orbitali di «valenza», i più esterni, che determinano le proprietà chimiche degli elementi.

Tutti questi fenomeni vanno sotto il nome di effetto relativistico diretto che, in generale, aumenta con la carica del nucleo di ciascun atomo. Altri effetti di natura opposta, però, complicano la faccenda. Mentre l'effetto relativistico diretto stabilizza certi orbitali, un altro effetto relativistico «indiretto» destabilizza gli elettroni *d* e *f*. È una specie di schermo elettrostatico da parte degli elettroni *s* e *p*, la cui cariche negative neutralizzano in parte l'attrazione della carica positiva del nucleo sperimentata a una certa distanza. Perciò il nucleo sembra esercitare sugli elettroni distanti un'attrazione minore, anziché maggiore.

Alcuni effetti relativistici sono evidenti nella vita di tutti i giorni. Per esempio sono responsabili del colore dell'oro, che distingue questo elemento dagli altri elementi incolori che lo circondano nel blocco dell'orbitale *d* della tavola periodica, come l'argento che si trova proprio sopra l'oro.

Un atomo di un metallo del blocco *d* colpito da un fotone della giusta lunghezza d'onda subisce una transizione. Assorbe il fotone e l'energia del fotone provoca un salto di un elettrone da un orbitale *d* all'orbitale *s* che si trova sopra. Nell'argento la differenza energetica (o gap di energia) tra gli orbitali è abbastanza ampia che per provocare la transizione ci vuole un fotone della regione ultravioletta dello spettro. Ma i fotoni nello spettro visibile della luce, con energia più bassa rispetto ai raggi ultravioletti, rimbalzano, quindi ai nostri occhi il materiale sembra riflettere quasi perfettamente, come uno specchio.

Nell'oro, la contrazione relativistica abbassa l'energia dell'orbitale *s* mentre aumenta l'energia dell'orbitale *d*, quindi la differenza energetica tra i due livelli diminuisce. Di conseguenza la transizione richiede un'energia più piccola, pari a quella trasferita da un fotone nella regione blu dello spettro visibile. I fotoni degli altri colori, però, vengono riflessi; di conseguenza quella che percepiamo è luce bianca a cui è stata sottratta la componente blu, che corrisponde al caratteristico colore giallo dell'oro.

Pekka Pyykkö dell'Università di Helsinki e altri ricercatori avevano previsto ulteriori effetti che la relatività può avere sull'oro, incluso il fatto che possa legarsi ad altri atomi in modi soprendentemente nuovi. I composti attesi come risultato di queste intera-

Cortesia Flerov Laboratory of Nuclear Reactions

zioni sono stati poi scoperti, un risultato paragonabile ai successi di Mendeleev nell'anticipare l'esistenza di nuovi elementi. Le previsioni esatte di Pyykkö riguardavano il legame tra oro e xeno, gas nobile generalmente inerte, e il triplo legame tra oro e carbonio. Un altro risultato importante è stata la scoperta di una molecola sferica composta da un atomo del metallo tungsteno e da 12 atomi d'oro, che somiglia al «fullerene», composto di solo carbonio. Questa sorta di fullerene aureo si forma con una certa facilità dai vapori di oro e tungsteno in presenza di elio.

L'applicazione della meccanica quantistica relativistica si è rivelata indispensabile per studiare come i composti dell'oro agiscano da catalizzatori (per esempio, per degradare le sostanze chimiche tossiche contenute nei gas di scarico delle automobili), anche se l'oro è notoriamente inerte.

Sorprese superpesanti

Anche se si tiene conto degli effetti relativistici, elementi come l'oro non deviano poi troppo dal comportamento atteso. Fino a poco tempo fa, il comportamento dei nuovi elementi rispettava quello previsto sulla base della loro posizione sulla tavola periodica. Ma poi sono cominciate le brutte sorprese (o forse le più interessanti). Alcuni esperimenti sulla chimica degli ultimi elementi scoperti hanno mostrato le prime minacciose crepe nella regola periodica.

Usando gli acceleratori di particelle per aggregare nuclei di massa elevata, i fisici sono riusciti a produrre elementi «superpesanti», cioè con numero atomico superiore a 103. Gli esperimenti effettuati negli anni novanta su rutherfordio (104) e dubnio (105) avevano già suggerito che questi elementi non hanno le proprietà corrispondenti alla loro posizione sulla tavola periodica. Ken Czerwinski e colleghi dell'Università della California a Berkeley, per esempio, avevano scoperto che in soluzione il rutherfordio reagisce in modo simile al plutonio, un elemento molto distante sulla tavola periodica. Anche il dubnio mostrava un comportamento analogo a quello del protoattinio, nonostante le loro posizioni sulla tavola siano lontane. Secondo la legge periodica, invece, questi due elementi avrebbero dovuto comportarsi come quelli che nella tavola sono sopra di loro: afnio e tantalio.

In ricerche più recenti, gli scienziati hanno sintetizzato nuovi elementi superpesanti in numeri estremamente ridotti: la scoperta dell'elemento 117, per esempio, era basata sull'osservazione di soli sei atomi. Gli elementi superpesanti sono in genere molto instabili e decadono in elementi più leggeri in meno di un secondo. Gli studiosi si limitano soprattutto a osservare il risultato del decadimento nucleare, che fornisce informazioni sulla fisica e sulla chimica del nucleo. In questa fase della ricerca è impossibile indagare le proprietà chimiche con il metodo tradizionale, mettendo le sostanze in una provetta e osservandone le reazioni con altre sostanze. Gli scienziati hanno però elaborato tecniche ingegnose per studiare la chimica di questi elementi un atomo alla volta.

Gli esperimenti condotti sui due elementi successivi erano stati deludenti rispetto a quelli sugli elementi 104 e 105. Il seaborgio (106) e il bohrio (107) sembravano comportarsi come previsto da Mendeleev, al punto di meritare articoli scientifici dal titolo *L'ordinario seaborgio* o *Il noioso bohrio* [basato in inglese sul gioco di parole tra *boring*, noioso, e il nome dell'elemento, *bohrium*, N.d.t.]. La tavola periodica sembrò riprendere la sua funzione.

Nel caso dell'elemento 112 chimici e fisici hanno tentato di capire se l'elemento somigli più al mercurio, che nella tavola periodica si trova proprio sopra di lui, o al gas nobile radon, come suggeriscono i calcoli relativistici. In questi esperimenti i gruppi di ricerca hanno sintetizzato atomi con numero atomico 112, insieme a isotopi pesanti di mercurio e radon. (Sebbene mercurio e radon siano disponibili in natura, i ricercatori usano atomi sintetici perché possono produrli in condizioni identiche a quelle che generano gli elementi più pesanti, anziché basarsi sui dati relativi alle proprietà macroscopiche degli elementi più leggeri e abbondanti).

Negli esperimenti si osserva la deposizione di questi atomi su una superficie mantenuta a temperatura molto bassa e rivestita in parte con oro e in parte con ghiaccio. Se l'elemento 112 si comportasse come un metallo si dovrebbe legare all'oro. Se fosse più simile al gas nobile radon tenderebbe a depositarsi sul ghiaccio. Fino a oggi, laboratori diversi hanno ottenuto risultati differenti, e la situazione non è affatto chiara.

Non è chiaro se anche per gli atomi molto pesanti sia valido il principio per cui gli elementi della stessa colonna si comportano in modo simile

Anche gli effetti della relatività sull'elemento 114 devono essere ancora osservati. I primi risultati di Robert Eichler, del Paul Scherrer Institut di Zurigo, sono sorprendenti per la netta discrepanza rispetto alla previsione teorica.

Certamente ci saranno nuovi ingressi nella tavola periodica, e lo studio della chimica di questi elementi aiuterà a chiarire i dilemmi. Una questione più generale riguarda la possibilità che la tavola periodica abbia un limite massimo di estensione. È opinione condivisa che, se il numero di protoni supera un certo limite, il nucleo non riesce a formarsi neanche per un breve istante. Ma i pareri divergono su dove si collochi questo limite. Dai calcoli in cui si ipotizza che il nucleo sia puntiforme, risulta che l'elemento 137 sia l'ultimo possibile. Altri ricercatori hanno tenuto conto del volume del nucleo, e ritengono che l'elemento finale avrà un numero atomico pari a 172 o 173.

Non è chiaro se il principio per cui gli elementi nella stessa colonna della tavola periodica hanno un comportamento simile sia valido anche per atomi molto pesanti. La questione non ha grandi conseguenze pratiche, almeno nel prossimo futuro. La perdita di potere predittivo nel campo degli atomi superpesanti non influirà sull'utilità del resto della tavola. La stragrande maggioranza dei chimici non si occuperà mai degli elementi con i numeri atomici più elevati: hanno tutti nuclei molto instabili, e decadono in elementi più leggeri pochi istanti dopo essere stati creati.

Tuttavia la questione degli effetti della relatività ristretta colpisce al cuore la chimica come disciplina. Se la legge periodica perdesse di valore, i chimici dovrebbero affidarsi maggiormente alla fisica; se invece la legge periodica mantenesse la sua validità la disciplina potrebbe conservare una relativa indipendenza. Nel frattempo, forse, il fantasma di Mendeleev dovrebbe rilassarsi e stupirsi per il successo della sua migliore invenzione. ■

PER APPROFONDIRE

The Periodic Table, Its Story and Its Significance. Scerri E., Oxford University Press, 2007.

A Suggested Periodic Table up to Z ≤ 172, Based on Dirac–Fock Calculations on Atoms and Ions. Pyykkö P., in «Physical Chemistry Chemical Physics», Vol. 13, n. 1, pp. 161-168, 2011.

A Very Short Introduction to the Periodic Table. Scerri E., Oxford University Press, 2011.

AMBIENTE

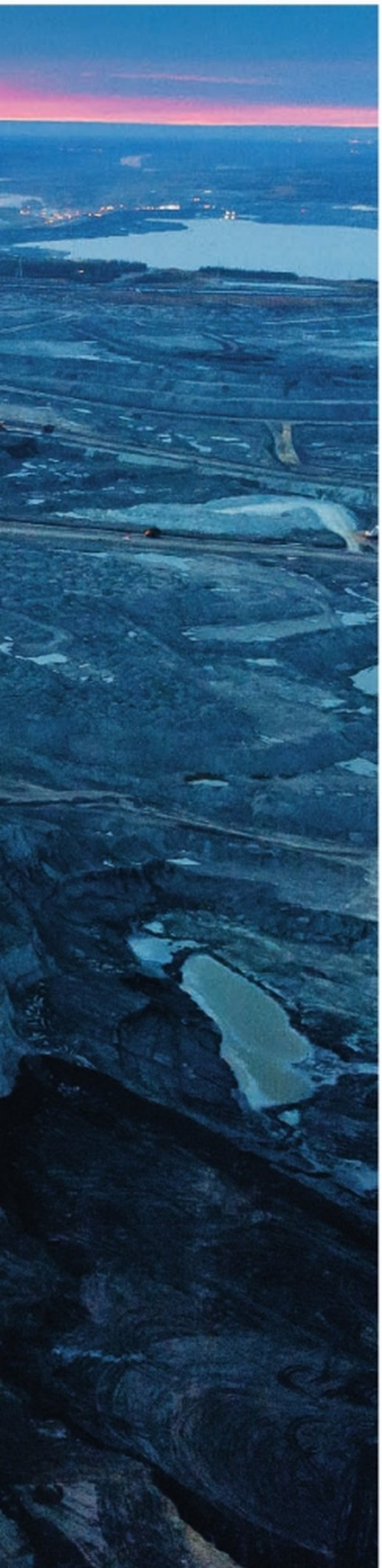
Sabbie, bitume,

Miniere petrolifere. La regione delle sabbie bituminose dell'Alberta è uno dei pochi posti al mondo dove il petrolio si può ottenere da attività di superficie.

di David Biello

effetto serra

Lo sfruttamento sempre più massiccio delle sabbie bituminose da cui ricavare petrolio spinge la Terra verso una soglia pericolosa di anidride carbonica



Le luci rosse lampeggiano, ma Ben Johnson non ci fa caso. L'ingegnere si appoggia su un tavolo pieno di monitor e descrive l'attività di un operatore nella sala controllo di una miniera di sabbie bituminose in Alberta, Canada. Il suo lavoro consiste nel prendere un fango composto di minerali e acqua e «liberare il bitume» simile al catrame che si può raffinare per ottenere petrolio convenzionale. Johnson e due colleghi lavorano in una stazione di monitoraggio alla base di una struttura a forma di cono e grande come una casa di tre piani. Fango e acqua calda entrano a metà di questo imbuto rovesciato e il bitume sale in superficie, uscendo dalle griglie circostanti. Una volta, nel 2012, il bitume è uscito così velocemente che è colato giù lungo i lati del cono e ha inondato l'edificio fino all'altezza delle caviglie. Per evitare che accada di nuovo, alcuni sensori monitorano temperatura, pressione e altri parametri, e se qualcosa non quadra, suona un allarme. Però succede così spesso («mille volte al giorno», dice Johnson) che i tecnici lo tengono spento. «Non fa più "bing, bing, bing" – dice – ci farebbe diventare matti».

Dalla miniera di North Steepbank, della Suncor Energy, dove Johnson lavora a uno dei separatori, proviene una frazione delle sabbie bituminose oggi estratte in Alberta, che ha una superficie circa doppia rispetto all'Italia. I prezzi elevati del petrolio registrati negli ultimi dieci anni hanno reso l'estrazione delle sabbie bituminose conveniente dal punto di vista economico, e il Canada ha subito aumentato la produzione. Solo nel 2012 l'Alberta ha esportato più di 55 miliardi di dollari di petrolio, la maggior parte negli Stati Uniti, quindi non c'è da sorprendersi che il gruppo di Johnson non si fermi ogni volta che suona l'allarme.

Tuttavia, la corsa allo sfruttamento delle sabbie bituminose dell'Alberta sta generando allarmi di altro tipo da parte dei climatologi. Le emissioni di anidride carbonica prodotte dal consumo di combustibili fossili stanno portando il mondo verso una soglia dei gas serra (una concentrazione di 450 parti per milione in atmosfera, corrispondente a 2 gradi Celsius o più di riscaldamento) oltre la quale alcuni scienziati temono che il cambiamento del clima diventi catastrofico. Il carbone è una fonte di carbonio da fonti fossili più grave, ma le sabbie dell'Alberta hanno bisogno di più energia per essere estratte e raffinate rispetto al petrolio convenzionale, aggiungendo un'ulteriore emissione di gas responsabili dell'effetto serra. E le operazioni con sabbie bituminose crescono molto più velocemente rispetto a qualunque altro tipo di petrolio. L'immissione in atmosfera del carbonio contenuto nelle sabbie bituminose probabilmente vanificherebbe ogni speranza di evitare la soglia dei 2 gradi.

Il destino delle sabbie bituminose dell'Alberta, e quindi del clima, sembra ora convergere sulla pro-

IN BREVE

Trasformare le sabbie bituminose in petrolio che poi viene bruciato come combustibile produce enormi quantità di anidride carbonica.
Per evitare un aumento medio globale della temperatura superiore a 2 gradi, potenzialmente in grado di innescare un cambiamento climatico catastrofico, le emissioni cumulative di carbonio devono rimanere sotto la soglia di 1000 miliardi di tonnellate.
L'atmosfera è già a metà strada di questa soglia; l'espansione della produzione di petrolio dalle sabbie bituminose causerebbe un'accelerazione delle emissioni.
L'oleodotto Keystone XL tra Canada e Stati Uniti sarebbe un incentivo alla produzione dalle sabbie bituminose, spingendo il pianeta verso il limite.

posta di un oleodotto chiamato Keystone XL, che andrebbe dall'Alberta alle raffinerie in Texas, negli Stati Uniti dunque, lungo il Golfo del Messico, e servirebbe come via di trasporto per petrolio greggio da sabbie bituminose. Da oltre dieci anni i sostenitori delle attività in Alberta argomentano che le sabbie bituminose costituiscono una fonte di petrolio essenziale per gli Stati Uniti, visto che non è soggetta ai disordini del Medio Oriente e di altre regioni produttrici. Tutto ciò che serve è un modo per trasportare petrolio ricavato dalle sabbie bituminose canadesi alle aree dove verrebbe usato: gli Stati Uniti, l'Europa e l'Asia. E se un oleodotto come Keystone XL non può essere costruito, il suo ruolo potrebbe essere svolto da altri oleodotti o dalla ferrovia. Ma esperti indipendenti suggeriscono che Keystone XL è cruciale per la crescita dell'industria delle sabbie bituminose in Alberta.

Nulla di tutto questo è venuto a galla quando Barack Obama nella sua campagna elettorale ha posticipato la decisione sulla costruzione o meno dell'oledotto. Quando la questione tornerà all'ordine del giorno, la sua decisione riguarderà molto altro.

Il budget delle emissioni

Osservando la miniera di Suncor, mentre sono esposto al freddo pungente invernale dell'Alberta, non posso fare a meno di pensare che un po' di riscaldamento globale potrebbe essere gradevole. La miniera si trova in una zona industriale nella foresta boreale, circa 30 chilometri a nord di Fort McMurray, una città in rapida espansione, dove gli affitti sono cari come a Manhattan e i camionisti guadagnano 100.000 dollari all'anno. Su una strada sterrata vedo sfilare un'incessante colonna di Caterpillar 797-Bs, i camion più grandi del mondo, ciascuno trasporta 400 tonnellate di sabbie bituminose. (Le donne sono molto richieste come autisti perché trattano meglio i mezzi, ma è difficile che arrivino perché in città ci sono tre volte più uomini che donne.) I camion fanno la spola tra enormi escavatori meccanici e l'impianto di separazione di Johnson, un viaggio di 40 minuti tra andata e ritorno.

I camion scaricano il minerale grezzo in un trituratore industriale grande come un'utilitaria, che alimenta un nastro trasportatore gigante, che a sua volta porta la sabbia al separatore controllato da Johnson. Un blocco di minerale grezzo può passare dal camion al bitume in meno di 30 minuti. Il bitume, nero e appiccicoso, emerge come schiuma dalla cima del separatore, viene raccolto e poi scorre in una tubatura fino a una piccola raffineria, dove viene cucinato ad alta temperatura per rimuovere il carbonio, e creare un brodo di idrocarburi simile al petrolio. In alternativa, il bitume è mescolato con idrocarburi più leggeri in vasche larghe e basse; la miscela risultante è abbastanza liquida da scorrere in oleodotti a lunga distanza come Keystone XL, verso le raffinerie negli Stati Uniti.

Il sito di North Steepbank di Suncor è solo una piccola frazione della prima miniera di sabbie bituminose al mondo, e solo uno del complesso minerario dell'azienda, che produce più di 300.000 barili di petrolio al giorno. Le proprietà di Suncor costituiscono circa il 30 per cento della produzione totale proveniente dall'estrazione delle sabbie bituminose in Alberta, che attualmente arriva a quasi 2 milioni di barili al giorno, equivalente alla produzione di più di 80.000 pozzi, e un ventesimo del fabbisogno degli Stati Uniti. Le miniere, con il loro grandi laghi di rifiuti tossici acquosi e blocchi di zolfo giallo intenso, sono già abbastanza grandi da essere visibili dallo spazio, una superficie industriale in rapida espansione nella foresta boreale.

Ma l'impatto ambientale invisibile delle miniere potrebbe rappresentare la sfida più dura. Evitare la soglia dei 2 gradi di riscaldamento implica che l'umanità affronti quello che gli scienziati chiamano *budget* del carbonio: un limite alle emissioni cumulative globali stimato in 1000 miliardi di tonnellate.

Il budget del carbonio è un'idea del fisico Myles Allen, dell'Università di Oxford, e altri sei scienziati. Nel 2009 il gruppo ha messo insieme osservazioni dell'aumento della temperatura e poi le ha inserite in modelli informatici di cambiamento climatico del futuro, che rendevano conto, tra l'altro, del fatto che la CO_2 resta in atmosfera per secoli, continuando a intrappolare calore. Il loro budget da 1000 miliardi di tonnellate include tutto il carbonio che l'attività umana può produrre senza problemi tra oggi e il 2050, se vogliamo rimanere al di sotto della soglia del riscaldamento. Non importa quanto velocemente raggiungeremo il limite. Quello che importa è non superare la soglia. «L'importante sono le tonnellate di carbonio», dice il climatologo della NASA in pensione James E. Hansen, che dal 1988 si occupa di riscaldamento globale, ed è stato arrestato durante le proteste contro Keystone XL. «Non importa quanto in fretta lo si bruci».

Per non sforare la soglia dei 2 gradi di riscaldamento le emissioni devono diminuire del 2,5 per all'anno da adesso

Anche la fonte non importa. Il mondo può bruciare solo una quantità prefissata di combustibili a base di carbonio, che siano sabbie bituminose, carbone, metano, legno o altre fonti di gas serra. «Dal punto di vista del sistema climatico, una molecola di anidride carbonica è una molecola di anidride carbonica, non importa se viene dal carbone o dal metano», osserva Ken Caldeira, che lavora ai modelli climatici alla Carnegie Institution for Science della Stanford University.

Secondo Allen, fino a oggi l'uso di combustibili fossili, la deforestazione e altre attività hanno immesso 570 miliardi di tonnellate di carbonio in atmosfera, e oltre 250 miliardi di tonnellate di CO_2 dal 2000. Attualmente le attività umane sono responsabili di circa 35 miliardi di tonnellate di anidride carbonica (9,5 tonnellate di carbonio) all'anno, un numero in crescita costante, assieme all'economia globale. Alla velocità attuale, stima Allen, il mondo emetterà l'ultima tonnellata di carbonio concessa dal budget nell'estate 2041. Per stare nel budget, le emissioni devono diminuire del 2,5 per cento all'anno, da adesso.

Tesori sotterranei

Le sabbie bituminose dell'Alberta rappresentano un'enorme quantità di carbonio sotterrato, i resti di innumerevoli alghe e altri microrganismi vissuti centinaia di milioni di anni fa in un mare interno caldo, eliminando CO_2 dall'atmosfera tramite fotosintesi. Con la tecnologia attuale, dall'Alberta si potrebbero recuperare 170 miliardi di barili di petrolio, che una volta bruciati libererebbero 25 miliardi di tonnellate di carbonio in atmosfera. Altri 1630 miliardi di barili (che immetterebbero altri 250 miliardi di tonnellate di carbonio) attendono sotto terra che si riesca a trovare un modo per separare il bitume dalla sabbia. «L'aumento di temperatura dovuto unicamente a un eventuale consumo di tutto questo petrolio ricavato dalle sabbie sarà la metà di quello visto finora» – 0,4 gradi di riscaldamento globale – osserva John P. Abraham, ingegnere meccanico della University of St. Thomas, in Minnesota.

L'estrazione di superficie può raggiungere depositi fino a 80

Garth Lenz (*pagine precedenti*)

metri di profondità, che però rendono conto solo del 20 per cento delle sabbie bituminose. In molti luoghi le sabbie si trovano centinaia di metri sotto la superficie, e le aziende del settore hanno sviluppato un metodo per liquefare il bitume sul posto.

Nel 2012 Cenovus Energy ha estratto oltre 64.000 barili di bitume sotterraneo al giorno nel sito Christina Lake, in Alberta. L'operazione è all'avanguardia di questa recente esplosione di sfruttamento delle sabbie bituminose. Nuvole di vapore si alzano dalle nove caldaie industriali, che bruciano metano per trasformare acqua trattata in vapore a 350 gradi. Gli impiegati di Cenovus, in una stanza di controllo più grande ancora di quella di Suncor, iniettano il vapore in profondità per liquefare il bitume, che poi è risucchiato in superficie attraverso un pozzo e inviato a ulteriore trattamento. Per Greg Fagnan, direttore operativo a Christina Lake, il complesso è come un'unità gigante di trattamento dell'acqua che «per caso produce anche petrolio». Ogni tanto un'eruzione spara vapore e sabbia parzialmente liquefatta verso il cielo, come è accaduto a Devon Energy nell'estate 2010, a causa dell'eccessiva pressione.

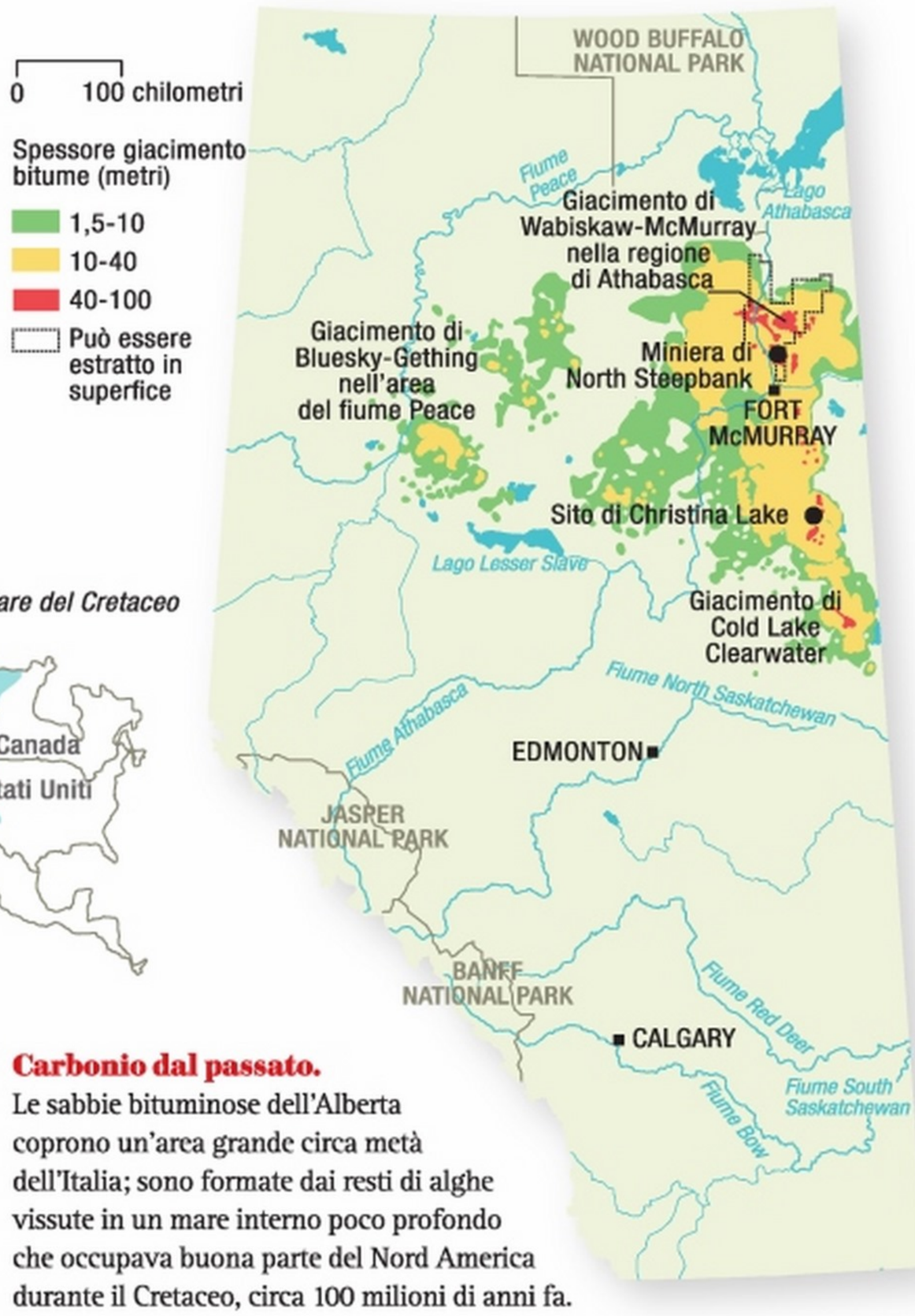
A Christina Lake i tecnici iniettano due barili di vapore per barile di bitume. Tutto quel vapore e il metano usato per scaldarlo implicano che la liquefazione del bitume emette una quantità di gas serra 2,5 volte superiore rispetto alle miniere di superficie, che sono già tra le attività di produzione di petrolio più inquinanti. Solo dal 2009 l'aumento della produzione dovuto a questo metodo ha aumentato del 16 per cento le emissioni di gas serra dalle sabbie bituminose dell'Alberta, secondo la Canadian Association of Petroleum Producers. Nel 2012, per la prima volta, la produzione sotterranea di sabbie bituminose in Alberta ha eguagliato quella delle attività minerarie di superficie, e, grazie a siti come Christina Lake presto diventerà il metodo principale di produzione.

Questo tipo di produzione però funziona solo per il bitume che si trova a oltre 200 metri di profondità, lasciando quindi intatta una zona di 120 metri troppo profonda per le miniere di superficie, ma poco profonda per questa tecnica. Fino a oggi gli ingegneri non hanno trovato come sfruttare il bitume in questo intervallo, quindi la prospettiva di bruciare tutto il combustibile contenuto nei depositi di sabbie bituminose è per ora improbabile.

Ma bruciarne anche solo una porzione significativa ci porterà molto vicino al superamento del limite imposto dal budget del carbonio. L'unico modo di farlo e rimanere entro il limite sarebbe smettere di bruciare carbone e altri combustibili fossili, oppure trovare un modo di ridurre drasticamente le emissioni di gas serra dovute all'estrazione delle sabbie bituminose; nessuna delle due eventualità sembra probabile. Le emissioni dovute alle sabbie «sono raddoppiate dal 1990 e raddoppieranno di nuovo entro il 2020», sostiene Jennifer Grant, direttore della ricerca sulle sabbie petrolifere al Pembine Institute, gruppo ambientalista canadese.

Keystone XL

Questo budget di carbonio spiega perché Abraham, Caldeira e Hansen, insieme con altri 15 scienziati, abbiano firmato una lettera al presidente Obama esortandolo a bocciare il progetto Keystone XL. Costruire l'oleodotto, di 2700 chilometri, e quindi incoraggiare la produzione di petrolio da sabbie bituminose, è «contro l'interesse del paese e del pianeta», hanno scritto gli scienziati.



Fonte: Alberta Geological survey and Energy Resources Conservation Board

Carbonio dal passato.
Le sabbie bituminose dell'Alberta coprono un'area grande circa metà dell'Italia; sono formate dai resti di alghe vissute in un mare interno poco profondo che occupava buona parte del Nord America durante il Cretaceo, circa 100 milioni di anni fa.

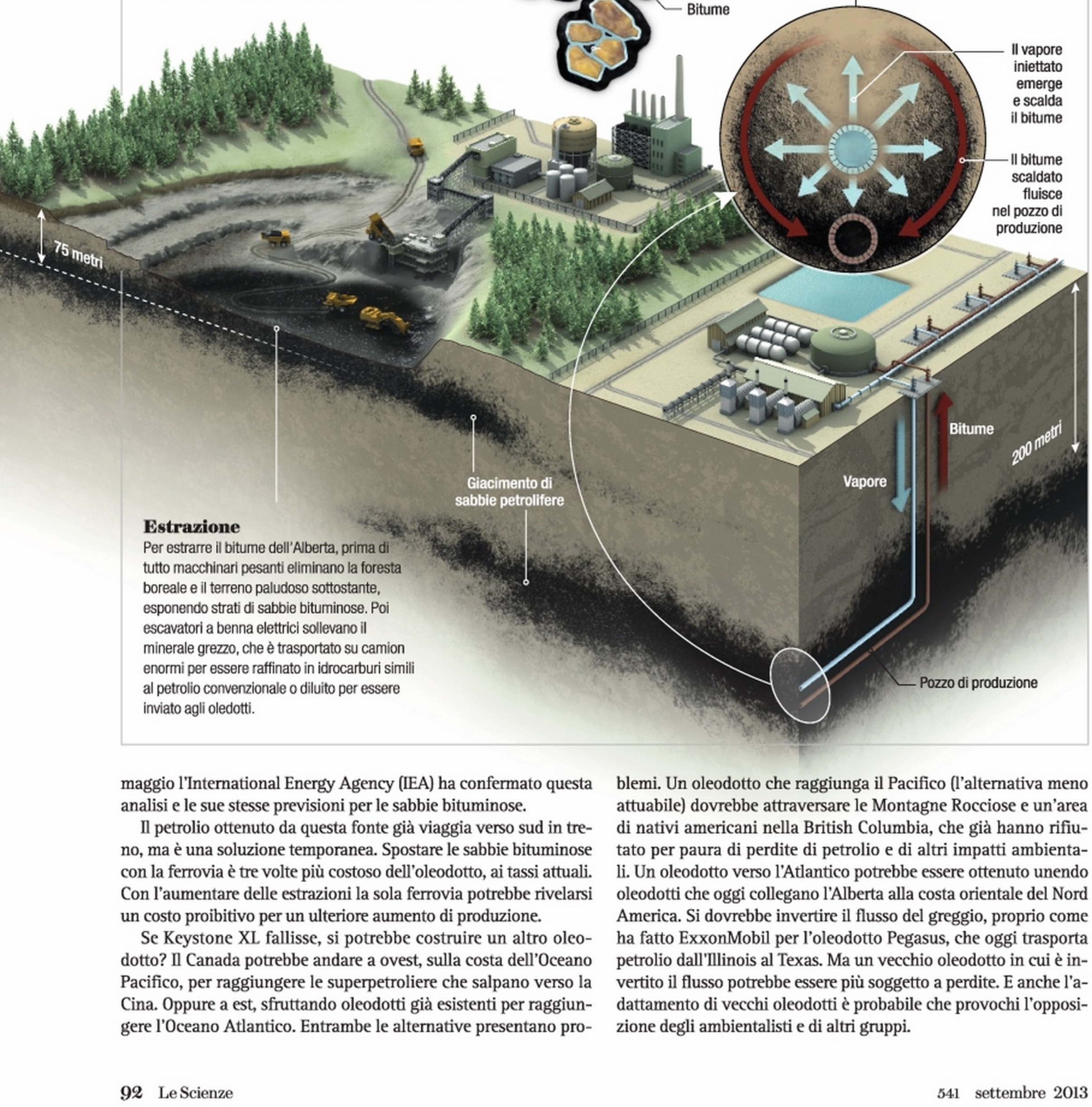
Obama, che poco prima delle elezioni nel 2012 aveva rimandato l'approvazione dell'oleodotto, nel discorso di insediamento e in quello sullo stato dell'Unione ha fatto commenti vicini ai temi ambientalisti. «Per i nostri figli, e per il nostro futuro, dobbiamo fare di più per combattere i cambiamenti climatici», ha detto nel Discorso sullo stato dell'Unione. «Se il Congresso non farà subito qualcosa per proteggere le generazioni future, lo farò io». La sua decisione sul Keystone XL è attesa per quest'anno, dopo che il Dipartimento di Stato pubblicherà il rapporto finale.

La prima stesura del rapporto minimizzava l'impatto dell'oleodotto sia sulle operazioni di estrazione dalle sabbie bituminose sia sull'ambiente. Keystone XL, diceva, «è improbabile che abbia un impatto sostanziale» sulle emissioni di gas serra. Questo perché si ipotizza che, senza Keystone XL, il Canada troverebbe altri modi economicamente convenienti per trasportare il petrolio.

Ma la statunitense Environmental Protection Agency (EPA) ha presentato una valutazione che getta una luce diversa sulla questione. Il rapporto del Dipartimento di Stato era basato su considerazioni economiche sbagliate, tra le altre sviste, sostiene Cynthia Giles, assistente amministratore dell'Office of Enforcement and Compliance Assurance dell'EPA. Forte di decenni di esperienza con valutazioni ambientali di grande portata, l'EPA sostiene che le alternative a Keystone XL o erano più costose o suscitavano forti opposizioni. In altre parole, la rinuncia all'oleodotto potrebbe limitare lo sviluppo dell'estrazione dalle sabbie bituminose. A

Come si produce il petrolio dalle sabbie bituminose

Le sabbie bituminose dell'Alberta sono state cotte dal calore della Terra, e il risultato è una forma di petrolio densa e catramosa: il bitume. Ogni grumo di bitume copre una miscela di acqua e sabbia, ed entrambe devono essere eliminate prima che il bitume possa essere processato. Un tipico blocco di minerale grezzo è sabbia per il 73 per cento, bitume per il 12 per cento, argilla per il 10 per cento e acqua per il 5 per cento. La separazione degli elementi appiccicosi produce laghi di residui tossici.



Liquefazione
La produzione sul posto prevede l'iniezione di vapore ad alta temperatura a oltre 200 metri di profondità, per sciogliere il bitume, che poi viene pompato in superficie per essere lavorato. Il bitume ottenuto si può raffinare o diluire per farlo scorrere in oleodotti a lunga distanza. Il metodo richiede più energia delle miniere di superficie, ed emette più gas serra.

Estrazione
Per estrarre il bitume dell'Alberta, prima di tutto macchinari pesanti eliminano la foresta boreale e il terreno paludoso sottostante, esponendo strati di sabbie bituminose. Poi escavatori a benna elettrici sollevano il minerale grezzo, che è trasportato su camion enormi per essere raffinato in idrocarburi simili al petrolio convenzionale o diluito per essere inviato agli oledotti.

maggio l'International Energy Agency (IEA) ha confermato questa analisi e le sue stesse previsioni per le sabbie bituminose.

Il petrolio ottenuto da questa fonte già viaggia verso sud in treno, ma è una soluzione temporanea. Spostare le sabbie bituminose con la ferrovia è tre volte più costoso dell'oleodotto, ai tassi attuali. Con l'aumentare delle estrazioni la sola ferrovia potrebbe rivelarsi un costo proibitivo per un ulteriore aumento di produzione.

Se Keystone XL fallisse, si potrebbe costruire un altro oleodotto? Il Canada potrebbe andare a ovest, sulla costa dell'Oceano Pacifico, per raggiungere le superpetroliere che salpano verso la Cina. Oppure a est, sfruttando oleodotti già esistenti per raggiungere l'Oceano Atlantico. Entrambe le alternative presentano problemi. Un oleodotto che raggiunga il Pacifico (l'alternativa meno attuabile) dovrebbe attraversare le Montagne Rocciose e un'area di nativi americani nella British Columbia, che già hanno rifiutato per paura di perdite di petrolio e di altri impatti ambientali. Un oleodotto verso l'Atlantico potrebbe essere ottenuto unendo oleodotti che oggi collegano l'Alberta alla costa orientale del Nord America. Si dovrebbe invertire il flusso del greggio, proprio come ha fatto ExxonMobil per l'oleodotto Pegasus, che oggi trasporta petrolio dall'Illinois al Texas. Ma un vecchio oleodotto in cui è invertito il flusso potrebbe essere più soggetto a perdite. E anche l'adattamento di vecchi oleodotti è probabile che provochi l'opposizione degli ambientalisti e di altri gruppi.

Illustrazione di Emily Cooper

Con tutti questi ostacoli, l'industria delle sabbie bituminose ha bisogno di Keystone XL per continuare a espandersi, secondo i rapporti di EPA e IEA. Attualmente le sabbie bituminose dell'Alberta producono 1,8 milioni di barili di petrolio al giorno; Keystone XL potrebbe trasportare altri 830.000 barili al giorno.

Consapevoli dell'opposizione ambientalista, Alberta e aziende del settore cercano di minimizzare l'emissione di gas serra. Royal Dutch Shell sperimenta un metodo alternativo molto costoso con cui trasformare bitume in petrolio grazie all'aggiunta di idrogeno, invece di trasformarlo in coke di petrolio, per ridurre le emissioni di anidride carbonica. Il gigante internazionale del petrolio ha anche sviluppato piani per equipaggiare una delle sue miniraffinerie con apparecchiature per la cattura e lo stoccaggio del carbonio, un progetto chiamato Quest. Quando sarà completato, nel 2015, Quest cercherà di immagazzinare in profondità un milione di tonnellate di anidride carbonica, un terzo di quella prodotta dall'impianto. Un altro progetto simile nella stessa regione mira a catturare CO_2 da usare per produrre più petrolio convenzionale.

L'Alberta è anche una delle poche regioni al mondo produttrici di petrolio che abbiano una tassa sulle emissioni di carbonio, attualmente 15 dollari per tonnellata, ma si discute sulla possibilità di aumentarla. La provincia canadese ha investito gli oltre 300 milioni di dollari ricavati dalla tassa fino a oggi in sviluppo tecnologico, innanzitutto per ridurre le emissioni di anidride carbonica provenienti dalle sabbie bituminose.

Nonostante questi sforzi, le emissioni restano elevate. Secondo la Canadian Association of Petroleum Producers, nel 2011 la produzione di 1,8 milioni di barili al giorno di petrolio da sabbie bituminose ha generato oltre 47 milioni di tonnellate di gas serra che vanno ad aggiungersi ad altri 240 milioni di tonnellate generati una volta che il petrolio è usato dalle automobili negli Stati Uniti.

Nel 2010 la IEA ha analizzato alcune strategie per rimanere sotto la soglia dei 2 gradi, suggerendo che la produzione da sabbie bituminose non debba superare i 3,3 milioni di barili al giorno entro il 2035. Ma le attività estrattive già approvate o in costruzione in Alberta potrebbero aumentare la produziona a 5 milioni barili al giorno entro il 2030. È difficile immaginare come estrarre sabbie bituminose senza sforare il budget del carbonio.

Superare il budget

È corretto puntare il dito sulle sabbie bituminose? Altre forme di combustibile fossile immettono ancora più carbonio in atmosfera, ma non suscitano critiche così feroci, come invece dovrebbero. Nel 2011 le centrali a carbone degli Stati Uniti hanno emesso 2 miliardi di tonnellate di gas serra, otto volte il totale delle emissioni prodotte da estrazione, raffinazione e uso del prodotto finale delle sabbie bituminose. Molte miniere di carbone nel mondo deturpano il territorio e hanno effetti ancora più gravi sul clima. Eppure miniere come quelle nel Montana e nel bacino del fiume Powder in Wyoming non sono obiettivo di proteste agguerrite come lo è invece Keystone XL; i manifestanti non si incatenano ai binari per bloccare i treni che trasportano carbone dal bacino del Powder. Secondo la U.S. Geological Survey, solo nel bacino del fiume ci sono 150 miliardi di tonnellate di carbone che si potrebbero recuperare con le tecnologie attuali. Se venisse bruciato tutto, il bilancio di carbonio globale verrebbe ampiamente superato.

Il piano australiano di espansione delle esportazioni di carbone in Asia aggiungerebbe altri 1,2 miliardi di tonnellate di anidride carbonica in atmosfera ogni anno, una volta che quel carbone fosse bruciato: una quantità che fa sembrare ridicole le emissioni prodotte dalle sabbie bituminose, anche nelle più pessimistiche previsioni. Stati Uniti e altri paesi come l'Indonesia stanno pianificando l'espansione dell'industria carbonifera. Chiudere o anche solo ridimensionare l'industria del carbone statunitense compenserebbe abbondantemente lo sviluppo delle attività legate alle sabbie bituminose dovute al Keystone XL, anche se i due combustibili fossili sono usati per motivi diversi: il carbone per l'elettricità, il petrolio per i trasporti.

Il Canada è un bersaglio facile, dato che è una democrazia, suscettibile alle pressioni degli ambientalisti. I produttori di «petrolio pesante» (che ha effetti sull'inquinamento simili a quelli del bitume ricavato dalle sabbie) in Messico, Nigeria o Venezuela, non devono affrontare esami così critici, nonostante gli alti tassi di anidride carbonica prodotta. In verità, recuperare il petrolio pesante da un sito in California è in assoluto l'attività estrattiva che produce più anidride carbonica nel mondo, anche più delle sabbie bituminose. «Chi pensa che altre fonti di petrolio diverse dalle sabbie bituminose siano migliori, mente a se stesso», dice Murray Gray, direttore scientifico del Center for Oil Sands Innovation all'Università dell'Alberta.

Quando si parla di riduzione delle emissioni, ogni particella di carbonio è importante, che venga da sabbie bituminose o altre fonti

Ma la produzione da queste altre fonti non sta aumentando così velocemente come invece accade in Alberta, dove la produzione è cresciuta di oltre un milione di barili al giorno negli ultimi dieci anni. Per mantenerci all'interno del budget del carbonio dobbiamo produrre meno della metà di petrolio, carbone e metano convenzionali, Ciò si possono estrarre in maniera economica. Questo significa che gran parte dei combustibili fossili dovrà rimanere sotto terra.

Ma le forze economiche potrebbero aiutare l'ambiente. La fratturazione idraulica (*fracking*) nella formazione rocciosa di Bakken, in North Dakota, comincia a deprimere la domanda di petrolio dal Canada; come conseguenza, i progetti di nuove infrastrutture in Alberta sono stati abbandonati. Nuove regole di efficienza energetica per le automobili negli Stati Uniti ridurranno ulteriormente la domanda. Ma le sabbie bituminose sono lì e aspettano, tentatrici, con le loro promesse di future estrazioni una volta che il petrolio più facile da recuperare sarà finito.

Se l'oleodotto Keystone XL sarà approvato, o se si costruiranno altre infrastrutture per portare il petrolio delle sabbie bituminose in Cina, le esportazioni cresceranno, accelerando l'immissione di anidride carbonica in atmosfera. Invece di ridurre le emissioni del 2,5 per cento all'anno a cominciare da ora (lo sforzo necessario per tenere il pianeta lontano dalla soglia dei 2 gradi, secondo Allen), l'inquinamento da gas serra aumenterà. Ogni particella di carbonio proveniente dai combustibili fossili fa la sua parte, che provenga dalle sabbie bituminose o da altre fonti. ■

PER APPROFONDIRE

Warming Caused by Cumulative Carbon Emissions towards the Trillionth Tonne. Allen M.R. e altri, in «Nature», Vol. 458, pp. 1163-1166, 30 aprile 2009.

The Alberta Oil Sands and Climate. Swart N.C. e Weaver A.J, in «Nature Climate Change», Vol. 2, pp. 134-136, 19 febbraio 2012.

The Facts on Oil Sands. Canadian Association of Petroleum Producers, 2013. **www.capp.ca/getdoc.aspx?DocId=220513&DT=NTV.**

di Rodolfo Clerico, Piero Fabbri e Francesca Ortenzio

«Sarah Connor?»

Se si va a guardare la classifica dei film che hanno avuto i maggiori incassi della storia, si constata con una certa sorpresa che i primi due posti in classifica sono occupati dallo stesso regista. Sia *Avatar* sia *Titanic* sono infatti di James Cameron, che è forse abbastanza avaro di parole nei titoli delle sue pellicole, ma certo assai abile a riempire le casse dei botteghini. Del resto Cameron aveva già lasciato il segno girando qualche scena che è entrata di diritto nell'immaginario collettivo dei cinefili: per esempio quella di *Terminator* (altro titolo monoverbo) in cui Arnold Schwarzenegger, faccia dura da robot, suona il campanello di case americane, chiede con voce neutra «Sarah Connor?» e subito dopo l'affabile sorriso affermativo delle malcapitate, scarica loro addosso un intero caricatore di proiettili.

«Alice Riddle?».

A dire il vero, Rudy non aveva detto proprio niente. Però aveva insolitamente suonato il campanello, indossava insoliti occhiali a specchio e soprattutto aveva un'espressione omicida che, al confronto, il ghigno feroce di Terminator pareva un infantile «Dolcetto o Scherzetto?» da vigilia di Ognissanti. Così la domanda inespressa era comunque ronzata nelle orecchie di Alice, e che le fosse arrivata tramite reminiscenze neuroniche anziché le ordinarie vibrazioni di timpani auricolari, non faceva tanta differenza.

«Ehm... Capo, va tutto bene? Hai dimenticato la pist... volevo dire le chiavi? Vuoi sederti sul divano? Ti porto una birra? Hai abbastanza tabacco, o scendo a comprartene un po'? Insomma, posso fare qualcosa per cambiarti quella faccia?».

«Nulla, non puoi fare nulla. Anzi, ricordatelo bene: non devi fare nulla. Non risolvere problemi, specialmente se te li sottopongono gli altri».

«Non fare nulla? Penso di potercela fare... In fondo, se venissi mai colta da un subitaneo sussulto di alacrità, mi basterà dare uno sguardo a Doc e provare a imitarlo. Tra l'altro ero convinto che foste usciti insieme, anche lui manca da un po'... Ma perché non mi spieghi che succede? Chi ti ha fatto arrabbiare al punto da farti sembrare una mediocre imitazione di James Cagney?».

«Sono reduce dalla riunione di condominio».

«Oh. Capisco. Non serve che tu aggiunga altro. Le riunioni di condominio... Brrrr».

«Questa è stata anche peggio del solito. Nove volte su dieci basta restare zitti per due ore e dopo un florilegio di scemenze la riunione finisce senza che venga presa nessuna decisione. Il disastro è quando invece arrivano a prenderne una. In quei rari casi è pacifico che la decisione presa sarà talmente stupida e criminale che ci vorrebbe la polizia per interdire e invalidare le votazioni».

«Ehm... Capo, mi sembra di scorgere in te un'insospettata vena conservatrice».

«Non fare la spiritosa. Guarda che ci andiamo di mezzo tutti: è questa la tragedia delle riunioni di condominio».

«E che cosa si sarà deciso mai, per farti imbestialire tanto? "Numerazione dei posti auto con cifre romane anziché arabe"? "Randomizzazione dei pulsanti dell'ascensore"?».

«La prendi ancora alla leggera, eh? Beh, vedrai che presto ti passa: congiuntamente ai condomini del palazzo vicino, si è deciso di dividere in due il giardino! Ma ti rendi conto?».

Alice segue con gli occhi Gaetanagnesi, che si era affacciata da sotto la poltrona.

«Come? Beh, è certo una decisione impegnativa, lo riconosco. Ma forse non è poi così terribile, dai. Ogni edificio avrà il suo giardino proprio... meno vasto, ma più intimo. Forse...».

«Forse un accidente, Treccia. È una tragedia, in realtà. Lo ha capito anche la micia, guardala: ha il pelo tutto ritto».

«Beh, certo. Per lei rischia di essere davvero scioccante, è il suo regno incontrastato. Ma non si lascerà fermare da barriere umane, no? Tra l'altro, come hanno intenzione di dividerlo?».

«Come vuoi che abbiano deciso? Con la soluzione più banale: una siepe. Le aree delle due parti dovranno naturalmente essere equivalenti, e siccome oltre che banali sono anche tirchi, la siepe in questione dovrà essere la più corta possibile».

«Ecco, ora capisco perché mi hai proibito di risolvere proble-

Illustrazione di Stefano Fabbri

La soluzione del problema esposto in queste pagine sarà pubblicata in forma breve sul numero di ottobre e in forma estesa sul nostro sito: www.lescienze.it. Potete mandare le vostre risposte all'indirizzo e-mail: rudi@lescienze.it.

Un inquietante Rudy torna dalla riunione di condominio in cui è stato deciso di dividere in due il giardino in comune

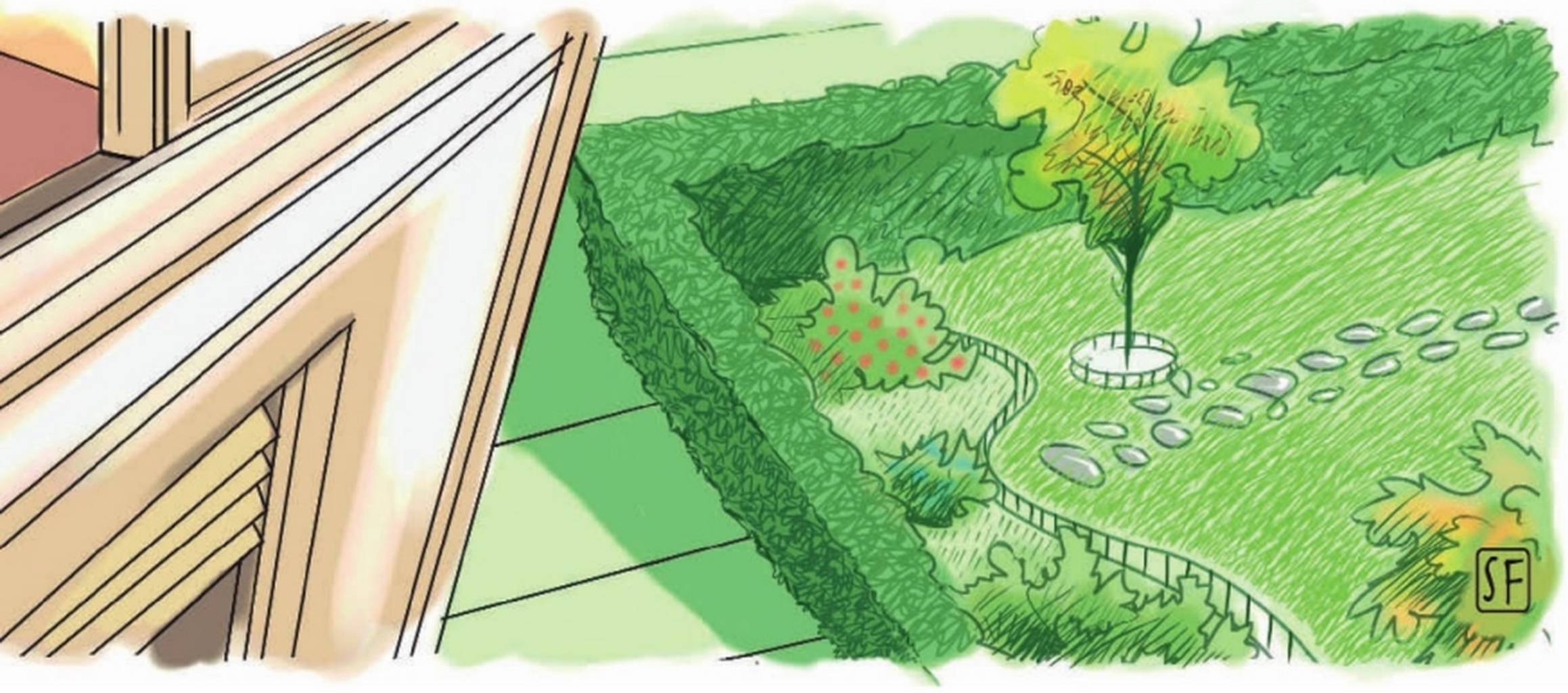
IL PROBLEMA DI AGOSTO

Il mese scorso raccontavamo di un torneo scacchistico terminato con una vittoria di Rudy, in cui tutti gli altri giocatori, tranne Doc, erano giunti a pari merito al secondo posto.

Detto n il numero dei giocatori giunti a pari merito e m il punteggio ottenuto da ognuno di loro, poiché Rudy e Piotr hanno fatto in totale 8 punti, si ha che il totale dei punti assegnati nel torneo è $mn + 8$. Poiché a ogni partita si assegna un punto, questo è anche il numero delle partite giocate. D'altro canto, essendo in tutto $n + 2$ i giocatori del torneo e avendo ognuno di essi incontrato tutti gli altri, il numero totale delle partite è esprimibile anche come $(n + 2)(n + 1) / 2$; vale quindi l'equazione $mn + 8 = (n + 1)(n + 2)/2$, che si può scrivere anche come $n + 3 - 2m = 14/n$.

Per la regola di attribuzione dei punti, m può essere intero o semintero, e n è intero: n deve essere allora un divisore di 14, perché il primo membro dell'equazione è certamente intero. Tra i divisori di 14 possiamo escludere 1 e 2, perché in questi casi i giocatori sarebbero solo 3 o 4, e Rudy e Doc non avrebbero potuto totalizzare 8 punti.

Il caso $n = 14$ è escluso dal fatto che Rudy ha vinto in solitaria con al massimo 8 punti; rimane $n = 7$, che conduce a un totale di 9 giocatori. La classifica finale vede pertanto Rudy primo con 5 punti, Doc ultimo (poteva essere altrimenti?) con 3 punti, e tutti gli altri sette a 4 punti.



mi... Nel caso dovessero sotopormi la questione, dovrò guardarmi bene dall'aiutarli a trovare la siepe minima che biseca il prato! D'accordo, giuro solennemente che non lo farò. Confesso tuttavia che mi stupisce questa tua strenua volontà di evitare la divisione del giardino; non ti ci ho mai visto dentro, ma nemmeno per sbaglio».

«Ma che domande fai, Alice? Non lo hai visto? È un bellissimo triangolo rettangolo!».

«Beh sì, l'ho notato, ma...».

«E non hai misurato i cateti? La bellezza di 300 e 400 metri».

«Grande, eh? Certo, è soprattutto per questo che noi...».

«Ma che c'entra la grandezza! È che si tratta di un triangolo pitagorico! Geometria fatta armonia! E vogliono rovinarlo? Mai e poi mai!».

«Va bene, Capo, capisco. A beneficio dei nostri vicini di casa, sono tornata improvvisamente analfabeta. Credo di aver dimenticato anche come si fanno le addizioni con il riporto. Ma questo non li fermerà mica».

«Lo dici tu: tirchi come sono non ingaggeranno certo nessuno, per fare i conti. E figuriamoci se riescono a venirne a capo da soli. Basterà non farsi coinvolgere, e il giardino resterà indiviso per altri vent'anni almeno. A meno che non chiedano a Doc... In quel caso, siamo al sicuro per mezzo secolo».

Lo sbattere della porta di casa faceva capire che il complemento oggetto della frase poco prima pronunciata aveva raggiunto la magione.

«Capo, Treccia, non ci crederete...», comincia Piotr, raggiante come un sedicenne che ha appena fissato un appuntamento con la più bella della scuola. «Poco fa mi hanno sottoposto un problema di geometria, e che voi ci crediate o no...».

Alice deglutisce a vuoto: «... Lo hai risolto?».

«Sì! Non è incredibile? E...».

«... Ed è stato l'amministratore a sottoportelo?».

Piotr sorride sorpreso: «Ma sì! Come fai a...».

Non finisce la frase. È distratto dalla strana espressione di Rudy: ha degli occhiali a specchio, un volto impenetrabile, stringe convulsamente la pipa, e gli sibila solo due parole.

«Sarah Connor?».

Farmaci e cattiva scienza

Effetti collaterali
di Ben Goldacre
Mondadori, Milano, 2013, pp. 416 (euro 19,00)

Un po' come il libretto scritto da Stéphane Hessel, *Indignatevi!*, caso editoriale globale in grado di ispirare movimenti di protesta sociale in mezzo mondo, questo nuovo libro di Ben Goldacre, con toni da *pamphlet* rivoluzionario, ce la mette tutta per suscitare nei lettori una furibonda indignazione, in questo caso per lo stato dell'arte nella ricerca e nella regolamentazione dei farmaci. Per chi ancora non lo conoscesse, Goldacre è un giornalista britannico, collaboratore del quotidiano «The Guardian» e della BBC e autore di un fortunato libro sulla «cattiva scienza» in cui smascherava gli inganni pseudoscientifici di omeopati, venditori di creme di bellezza e nutrizionisti improvvisati. Questa volta nel mirino dell'implacabile *science writer* è finita l'industria farmaceutica mondiale e la clamorosa carenza di dati pubblici sulle sperimentazione dei farmaci.

Goldacre è innanzitutto un medico, e per far capire la rilevanza del problema che vuole denunciare racconta i casi personali in cui è incappato. Come quello della reboxetina, un farmaco antidepressivo che Goldacre aveva deciso di prescrivere a un suo paziente dopo aver studiato scrupolosamente la letteratura a disposizione, pensando di aver compiuto la miglior scelta possibile. Fino a quando non ha potuto consultare una dettagliata revisione sistematica sulla reboxetina che comprendeva anche dati mai pubblicati sulle riviste scientifiche. Su sette trial clinici condotti per mettere a confronto questo antidepressivo con un placebo, solo uno aveva dato esito positivo, mentre gli altri sei dimostravano che il farmaco era efficace quanto una pillola di zucchero. Peccato che i risultati di questi ultimi erano rimasti sigillati nei laboratori, e l'unico a vedere la luce era stato il trial favorevole al farmaco. Per di più emergeva anche una minore efficacia, attestata da altri trial rimasti non pubblicati, rispetto ad altri antidepressivi, e un maggior rischio di subire effetti collaterali.

Lo scandalo che questo libro vuole denunciare è dunque quello dei dati mancanti sull'efficacia e sulla sicurezza dei farmaci nella letteratura scientifica. Impera un *publication bias* che rende due volte più probabile la pubblicazione dei risultati di una sperimentazione con esiti positivi rispetto a quelli negativi. E all'appello, secondo stime recenti, mancherebbero addirittura metà dei dati sulle sperimentazioni dei farmaci. Il primo obiettivo della polemica di Goldacre sono le grandi case farmaceutiche, che hanno nascosto regolarmente risultati negativi o poco significativi su nuove molecole da mettere in commercio. Ma ce n'è per tutti, dalle autorità regolatrici come la Food and Drug Administration statunitense all'Agenzia europea del farmaco, accusate di complicità con Big Pharma, alle riviste scientifiche, alle istituzioni pubbliche di ricerca.

E malgrado le battaglie per la trasparenza condotte da molti anni da organizzazioni come i centri Cochrane, che conducono meta-analisi e revisioni sistematiche dei risultati dei trial clinici per appurare efficacia e sicurezza dei farmaci, c'è stato fino ad anni recenti un vero e proprio velo omertoso sulla scomparsa dei dati. Non bastano gli impegni assunti negli ultimi tempi dalle case farmaceutiche a rendere disponibili tutti i dati delle nuove sperimentazioni, perché, sottolinea Goldacre, i farmaci che sono oggi in commercio sono stati testati in trial clinici di dieci o vent'anni fa. Dovrebbero essere accessibili invece tutti i dati di tutti i trial condotti sui farmaci oggi in commercio. Per ottenere questo risultato è partita anche una petizione internazionale, alltrials.net, che vuole coagulare la pressione dell'opinione pubblica per ottenere la trasparenza totale.

Anche se a tratti si fatica ad assimilare l'impetuoso racconto di Goldacre (cercatevi un video di una sua presentazione sul Web per capire il personaggio), il libro contiene un elenco di misure (dalla registrazione obbligatoria di tutti i trial clinici avviati nel mondo, alla prevenzione dei conflitti di interesse tra i medici, al rapporto tra case farmaceutiche e istituzioni) che potrebbero cambiare questo stato di cose. E trasformare l'indignazione nel desiderio di essere cittadini e pazienti più consapevoli e partecipi.

Marco Motta

Quando le navi puniche arrivarono nelle Piccole Antille

L'America dimenticata.
di Lucio Russo
Mondadori Università, Milano, 2013,
pp. 260 (euro 18,00)

Il titolo è al tempo stesso un richiamo e una sorpresa: contiene la parola «America», inaspettata nell'opera di uno studioso conosciuto per le sue ricerche sulla scienza ellenistica, e questo sorprende. D'altro canto, *L'America dimenticata* richiama il titolo del suo libro più famoso, *La rivoluzione dimenticata*, con cui Lucio Russo ha dimostrato che le conoscenze scientifiche del II secolo a.C. sono di gran lunga maggiori (e sorprendenti) di quanto si creda.

La tesi di questo libro è apparentemente sconvolgente: partendo dall'analisi di un errore di Tolomeo in merito alle dimensioni della Terra, Russo argomenta che i contatti tra Vecchio e Nuovo Mondo erano già possibili ai tempi dei Cartaginesi. Per quanto l'idea di scambi culturali tra Europa e America avvenuti 17 secoli prima di Colombo sia rivoluzionaria, il fascino del libro è, più ancora che in questa rivelazione, nell'esposizione degli argomenti: da scienziato, Russo evita i toni eclatanti, e motiva ogni singola affermazione; ma al pari degli autori di polizieschi conduce il lettore gradualmente verso le conclusioni lasciando che a convincerlo siano solo gli argomenti, non la prosa.

È probabile che, in questo modo, l'autore riesca a veicolare quella che è la sua tesi più cara e significativa, che trascende la pur sorprendente rivelazione che le navi puniche potrebbero aver toccato le Piccole Antille; ovvero la consapevolezza che la scienza, come ogni conquista umana, è fragile. Il mito del progresso inarrestabile, l'idea che non sia più possibile perdere la nostra maggiore ricchezza, la conoscenza, è appunto (e purtroppo) solo un mito. E questo messaggio è ben più importante di ogni primato di scoperta.

Piero Fabbri

Vita quotidiana di un talento matematico caduto nell'oblio

Un genio nello scantinato
di Alexander Masters
Adelphi, Milano, 2013,
pp. 340 (euro 22,00)

Virginia Farneti/Ansa

Simon è un patito di mezzi pubblici. Ha una casa piena di orari degli autobus degli anni passati, ne conosce a memoria i percorsi, ama follemente girare il Regno Unito con il trasporto pubblico e per proteggerlo dai tagli del governo è disposto a fare aspre battaglie. Fosse per lui, la vita di Simon potrebbe anche essere riassunta così. Ma per fortuna c'è Alexander Masters, che un bel giorno ha deciso che valeva la pena di raccontare, tra parole e disegni ricchi di *humour*, la vita del tizio grassoccio, dall'aspetto assai trasandato, che abita sotto di lui e gli affitta casa.

Perché Simon Norton è anche uno dei maggiori matematici degli ultimi decenni, tra gli autori dell'*Atlante dei gruppi finiti*, un testo capitale per lo studio delle simmetrie e della teoria dei gruppi. Ed è abituato a maneggiare con il pensiero oggetti matematici che abitano un mondo a 196.883 dimensioni. Un talento fiorito da giovanissimo, quando Simon sbaragliava tutti i concorrenti alle Olimpiadi della matematica, ma appassito d'improvviso (almeno dal punto di vista della comunità accademica) alla metà degli anni ottanta, quando Simon incappò in un errore di calcolo che provocò un tracollo della sua attività.

Ma Simon continua a vivere tra i numeri, a cercare di scovare le proprietà del Mostro, la congettura più ardita negli studi sulla simmetria, e Masters riesce a raccontare, con tratti a volte teneri a volte esilaranti, la vita quotidiana di Simon, in un contrappunto continuo tra la sua narrazione e gli estratti delle note a margine scritte da Norton, costruendo una sorta di biografia a due voci. Aprendo una finestra nella complessità della teoria dei gruppi con la forza delle illustrazioni.

Marco Motta

Due libri per raccontare Margherita

A due mesi dalla scomparsa di Margherita Hack, era il 28 giugno, vengono pubblicati due nuovi libri a cui la scienziata aveva lavorato fino all'ultimo, due testimonianze postume della sua vita professionale e del suo impegno civile.

Per i tipi di Baldini&Castoldi esce *In piena libertà e consapevolezza* (pp. 154, 12,00 euro) scritto dalla Hack con la collaborazione della giornalista Nicla Panciera, un testo che ripercorre i temi delle sue battaglie per la lacità del-

lo Stato e la democrazia, tra cui quelle per le unioni civili, i diritti degli omosessuali, fino a temi ancora più spinosi, se possibile, come il fine vita e l'aborto. Il libro, dice Panciera, si può considerare una summa delle sue convinzioni e rispetta quello stile franco che era il tratto distintivo della Hack.

Per Einaudi esce *Siamo fatti di stelle* (pp. 150, 12,00 euro) scritto con la collaborazione di Marco Morelli, ideatore e direttore del Museo di scienze planetarie di Prato. Lo stile è quello di un dialogo sui «minimi sistemi», come li chiamano con toscana ironia i due autori, che poi sono le piccole e grandi questioni della vita. Che siano scoperte astronomiche o il primo incontro con quello che diventerà il compagno di una vita lunga 91 intensi anni. (*gs*)

Trieste smuove le acque

Seconda edizione di Trieste Next, evento che promuove ricerca e innovazione legate al territorio triestino e che quest'anno ha l'acqua come tema principale

Tre giorni sull'acqua. Non è un fine settimana in barca, ma il programma dell'edizione 2013 di Trieste Next, la manifestazione annuale che promuove la ricerca e l'innovazione legate al territorio triestino. Tra il 27 e il 29 settembre scienziati, politici, giornalisti, imprenditori e personaggi dello spettacolo si alterneranno in una varietà di appuntamenti aperti al pubblico. E se l'anno scorso gli eventi si focalizzavano sull'uso responsabile del cibo, quest'anno il filo rosso che lega tutte le iniziative è l'acqua. L'acqua sotto molti punti di vista, come suggerisce il titolo della manifestazione: Water WISE, dove WISE sta per Wealth, Information, Sustainability, Environment. Ovvero, come scienza e impresa possono incontrarsi per favorire una politica intelligente delle risorse idriche.

La serata inaugurale del festival vedrà intervenire Jan Lundqvist, Senior Scientific Advisor dello Stockholm International Water Institute (SIWI), l'ente promotore della World Water Week che si tiene ogni anno a Stoccolma. Lundqvist si occupa di gestione dell'acqua, sicurezza alimentare e minacce ai sistemi costieri e marini, e ha guadagnato la sua attuale posizione al SIWI grazie a un intenso lavoro sul campo in Africa e Asia. Contribuiranno anche Andrea Segrè, direttore del Dipartimento di scienze e tecnologie agroalimentari dell'Università di Bologna, e il presidente della regione Debora Serracchiani.

Un altro incontro corale, *Gli estremi dell'acqua*, sarà moderato dal giornalista Luigi Bignami: tra i partecipanti Carlo Barbante, direttore dell'Istituto per la dinamica dei processi ambientali del Consiglio nazionale delle ricerche e professore ordinario di chimica analitica all'Università di Venezia, e Nando Boero, ecologo dell'Università di Lecce, entrambi vincitori di riconoscimenti internazionali per i loro studi. Un intermezzo giuridico con Gustavo Zagrebelsky, già giudice e presidente della Corte costituzionale, sarà l'occasione per affrontare una questione tanto facile da porre quanto difficile da sciogliere: *Di chi è l'acqua?* Ne discuterà con lui il presidente del gruppo Hera, che fornisce acqua anche alla Provincia di Trieste. Edoardo Boncinelli, genetista all'Università San Raffaele di Milano, presenterà il suo libro *Vita* (Bompiani, 2013), insieme al filosofo evoluzionista Telmo Pievani. *Il mistero delle sette sfere* (Mondadori, 2013) sarà invece oggetto della conversazione moderata da Marco Cattaneo tra l'autore Giovanni Bignami e Francesca Matteucci, rispettivamente presidente dell'Istituto nazionale di astrofisica e presidente del consiglio scientifico dell'Istituto nazionale di astrofisica.

Numerosi, oltre a quelli citati, gli ospiti che parteciperanno alla manifestazione: Giulio Giorello, filosofo della scienza all'Università di Milano, con una *lectio magistralis* dal titolo *Metamorfosi dell'acqua*, e ancora il sindaco di Trieste Roberto Cosolini, il direttore del quotidiano «Il Piccolo» Paolo Possamai, Matteo Renzi, Beppe Severgnini, Folco Quilici, Luca Lombroso e molti altri. Ci

Locale e non solo. Piazza Unità (*in alto*) è uno dei luoghi che ospiteranno gli eventi di Trieste Next. Sopra, propaganda per il referendum sull'acqua, alla cui proprietà è dedicato un incontro.

Atlantide Phototravel/Corbis (*Piazza Unità*); Lukas Schulze/dpa/Corbis (*rubinetto*); Claudio Peri/ANSA (*referendum acqua*)

Trieste Next

SALONE EUROPEO
DELLA RICERCA SCIENTIFICA

sarà spazio anche per il teatro: per il 27 sera è previsto uno spettacolo con Telmo Pievani, il giornalista Federico Taddia e la Banda Osiris, e il 28 andrà in scena un adattamento di *Ventimila leghe sotto i mari* di Jules Verne a cura della Provincia di Trieste. E non mancherà una parentesi enologica, con *L'acqua del Carso nei suoi vini*.

Un programma molto denso per una manifestazione nata solo l'anno scorso. La scelta è ulteriormente arricchita dalla Notte dei ricercatori, che si terrà proprio il 28 settembre, il secondo giorno di Trieste Next, nella centrale Piazza Unità. I bambini potranno partecipare a laboratori sul tema dell'acqua e a presentazioni di libri per ragazzi a cura di Editoriale Scienza, la casa editrice che quest'anno si è assicurata il premio Andersen. Anche alcuni degli ospiti di Trieste Next sapranno rivolgersi ai più giovani: Telmo Pievani e Federico Taddia proporranno loro un incontro dal titolo *Perché siamo parenti delle galline?*.

Gli studenti universitari e dell'ultimo anno delle scuole superiori potranno partecipare a un concorso che garantirà ai più meritevoli una borsa di soggiorno a Trieste nei giorni del festival. E per coloro che saranno già in città il giorno prima dell'inizio dei lavori, il Teatro Verdi, in collaborazione con l'Istituto nazionale di astrofisica e l'Osservatorio astronomico di Trieste, ospiterà un'anteprima dedicata al ricordo di Margherita Hack.

Roberta Fulci

Dove & quando:

TRIESTE NEXT
Trieste, sedi varie. Dal 27 al 29 settembre
Per informazioni: info@triestenext.it
www.triestenext.it

di Paolo Attivissimo
Giornalista informatico e studioso della disinformazione nei media

No, la scienza non è democratica

Quando si parla di argomenti scientifici non tutte le opinioni sono sullo stesso piano

Uno dei doveri fondamentali della deontologia giornalistica è presentare equamente tutti i punti di vista; far sentire entrambe le campane. Ma nel giornalismo scientifico questo comandamento porta spesso a dare pari spazio sia alle idee più consolidate e verificate sia alle tesi più bislacche, e a offrire un uguale palco mediatico all'esperto e al ciarlatano incompetente. Anzi, sovente il ciarlatano è oggetto di maggiori attenzioni, perché ha concetti più sensazionali e controversi da raccontare e li sa presentare in modo più accattivante, facendo appello alle emozioni del pubblico.

Così l'egittologa si trova a competere con l'esoterista che sostiene che le piramidi furono costruite dagli alieni, il biologo si scontra con il creazionista e il medico è messo a confronto con il guaritore che «cura» il diabete con le «vibrazioni positive». Perché tutti i punti di vista, secondo deontologia e democrazia, hanno pari dignità. È un caposaldo del pensiero *politically correct*.

Questo approccio è in realtà un tradimento della deontologia, perché quando si parla di scienza e in generale di fenomeni concreti non è vero che tutte le opinioni sono pari. Potranno esserlo in un dibattito politico, estetico o sportivo, ma se per esempio si discute di cardiochirurgia l'opinione di un gruppo di cardiochirurghi vale indubbiamente molto di più di quella di un salumiere o di un matematico. Metterle sullo stesso piano significa attribuire loro pari autorevolezza, e questo è pericolosamente ingannevole. Per citare Isaac Asimov, significa alimentare «la falsa idea che democrazia significhi "la mia ignoranza vale tanto quanto il tuo sapere"».

Non è snobismo scientifico: è quello che facciamo tutti nella vita quotidiana. Per riparare l'automobile consultiamo un meccanico o un carrozziere e per il mal di denti andiamo da un dentista. Difficilmente faremmo l'inverso o ci affideremmo, per esempio, a un geologo. In questi casi riteniamo fondamentale la competenza nella materia in oggetto. Invece questo diffuso approccio giornalistico nega questo principio, creando l'illusione che ci siano controversie scientifiche su argomenti che sono invece ampiamente assodati: l'esistenza del riscaldamento globale, i principi generali dell'evoluzione, i benefici dei vaccini, l'assenza di prove dei fenomeni paranormali, l'inefficacia dell'astrologia, delle medicine alternative e delle previsioni sismiche.

Certo, la scienza non procede per maggioranza, e anzi molte tesi un tempo minoritarie sono ora accettate senza riserve; ma tutto dipende dai fatti a sostegno, non dal numero di scienziati favorevoli, anche se un ampio consenso degli esperti (o una sua mancanza) resta un buon indicatore di attendibilità.

Ospitare nei mezzi di comunicazione le tesi alternative di personaggi privi di qualunque qualifica accanto a quelle consolidate degli esperti è come portare in sala parto sia l'ostetrico sia chi crede alla cicogna. Sarebbe più corretto presentare dibattiti tra esperti, perché su tante questioni non c'è un consenso monolitico, ma sono pochissimi i professionisti dell'informazione che seguono questa strada più ardua.

Forse è questa l'origine dell'avversione mediatica per la scienza: in questa tirannia dei fatti c'è poco spazio per le opinioni, soprattutto per quelle dei non addetti ai lavori, e il pubblico si sente facilmente tagliato fuori. Ma in realtà la scienza è aperta a tutti, senza distinzioni di sesso, etnia o ceto sociale, e si basa sulla condivisione trasparente della conoscenza. Chiunque la può studiare; non ha strette di mano segrete o saperi rivelati soltanto agli eletti o ai danarosi. E in questo senso è profondamente democratica.

Tutti uguali? Nell'ambito del giornalismo scientifico presentare equamente tutti i punti di vista è fuorviante, dato che una tesi consolidata non ha lo stesso peso di una non confermata dai ricercatori.

Dave and Les Jacobs/Blend Images/Corbis

di Dario Bressanini
chimico, divulgatore e aspirante cuoco interessato all'esplorazione scientifica del cibo. Autore di *Pane e Bugie* e *OGM tra leggende e realtà*

Alle origini dei nostri gusti

Perché ci piacciono i sapori che ci piacciono? Forse è merito dell'evoluzione

Abbiamo bisogno del cibo per assumere le calorie necessarie al nostro normale funzionamento, per assorbire nutrienti e sostanze indispensabili come minerali, vitamine, proteine e grassi. Ma un cibo sconosciuto può anche contenere sostanze tossiche, veleni mortali, batteri e muffe pericolose, o essere avariato. Ad aiutarci a selezionare il cibo per evitare ciò che ci potrebbe fare male e scegliere quello che potrebbe farci bene, l'evoluzione ci ha dotati del senso del gusto.

Ma perché sin da bambini i cibi dolci sono molto apprezzati e quelli amari invece vengono rifiutati, ed è solo tramite un processo culturale che cominciamo ad apprezzare cibi e bevande amari, come il caffè? Alcuni studiosi ipotizzano un ruolo dell'evoluzione nell'apprezzamento dei cinque sapori fondamentali: dolce, salato, aspro, amaro e umami.

La preferenza per il dolce è innata, come hanno dimostrato vari esperimenti sui neonati. L'apprezzamento per questo sapore ha fornito un indubbio vantaggio evolutivo: il dolce in natura indica la presenza di zuccheri, e quindi di energia. I cibi dolci sono ricchi di calorie, per cui l'abilità di percepire il dolce ha agito da sensore per trovare l'energia di cui avevamo bisogno, avvantaggiando chi lo apprezzava.

Il sapore salato viene percepito con l'assunzione del cloruro di sodio. Questo minerale è insostituibile per il corpo umano, e i livelli di sodio fisiologici sono mantenuti entro stretti limiti anche se il nostro corpo non dispone di un serbatoio per immagazzinare il sodio in eccesso e utilizzarlo quando serve. Il salato viene apprezzato sin da piccoli: a sei mesi di età i bambini già manifestano una preferenza per l'acqua leggermente salata rispetto all'acqua pura. Un'ipotesi ragionevole è che un «appetito per il sale» abbia permesso all'uomo di percepire e trovare fonti di sodio, elemento essenziale per il mantenimento del nostro equilibrio chimico.

Il sapore umami viene percepito dall'assunzione del glutammato di sodio e da alcune altre sostanze. In italiano potremmo chiamarlo «sapido». Così come il salato e il dolce, anche l'umami genera una risposta positiva. Un'ipotesi ragionevole, ma non dimostrata, è che i recettori del sapore umami si siano sviluppati nel corso della storia evolutiva umana allo scopo di identificare cibi ricchi di proteine di cui abbiamo bisogno, come carne, prodotti animali e alcuni vegetali.

Vari esperimenti hanno mostrato che anche il rifiuto dei cibi amari è innato: i bambini mostrano eloquenti facce di disgusto se si aggiungono composti amari all'acqua del biberon. La spiegazione evolutiva di questo comportamento fa notare che molte sostanze tossiche e velenose presenti in natura nei vegetali hanno un sapore amaro. Ovviamente non tutte le sostanze amare sono tossiche, e non tutte le sostanze tossiche sono amare, ma data l'abbondanza di vegetali non amari e non tossici – pensiamo alla frutta – un nostro antenato con l'avversione per i cibi amari avrebbe corso meno rischi di avvelenamento rispetto a un altro a cui fossero piaciuti.

Anche l'aspro, o acido, lancia un «segnale d'allarme». È possibile che il rifiuto del sapore aspro sia una risposta evolutiva dovuta al fatto che, fermentando, i cibi attaccati da batteri e altri microrganismi diventano acidi. Quindi il rifiuto di cibi acidi avariati ha permesso di evitare possibili infezioni e intossicazioni. Tuttavia, a differenza della risposta all'amaro, quella all'aspro è meno netta, e dipende molto dall'intensità, perché apprezziamo cibi debolmente aspri e fermentati come pane, yogurt, birra, vino e formaggi da tempo immemorabile.

Queste ipotesi sul perché ci piacciono o meno alcuni sapori sono sicuramente suggestive, ma sono necessarie solide prove scientifiche prima di poter affermare che abbiamo finalmente capito perché ci piacciono i sapori che ci piacciono.

La preferenza innata per il dolce comporta un vantaggio adattativo perché in natura il dolce segnala la presenza di zuccheri, e quindi di energia.

Dan Pangbourne/Image Source/Corbis

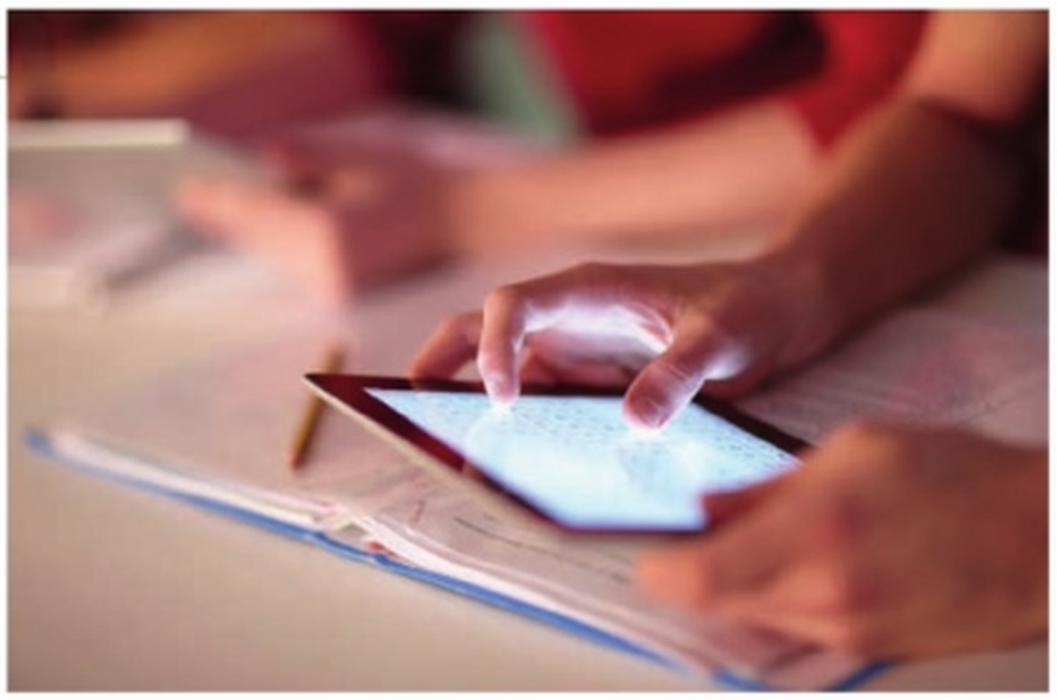
Prossimo numero

in ottobre

Dossier Studiare nell'era digitale

di Jeffrey Bartholet, Seth Fletcher e Arne Duncan

La tecnologia sta rivoluzionando ogni aspetto dell'istruzione, mettendo i migliori corsi universitari alla portata di tutti in tutto il mondo e trasformando radicalmente il modo di insegnare e di imparare. Un dossier per analizzare il significato di questa rivoluzione e le sue conseguenze per gli studenti, i docenti, le famiglie e l'intera società.



La realtà in meccanica quantistica

di Meinard Kuhlmann

I fisici parlano di un mondo fatto di particelle e campi di forze, ma non è affatto chiaro che cosa siano particelle e campi di forze in ambito quantistico. Molti fisici ritengono che le particelle non siano oggetti materiali, ma eccitazioni di un campo quantistico. Ma se né particelle né campi sono fondamentali, che cosa lo è?

La funzione del sonno

di Giulio Tononi e Chiara Cirelli

Quando dormiamo, le connessioni tra neuroni si indeboliscono: un effetto sorprendente, perché il rinforzo di quelle connessioni durante la veglia contribuisce ad apprendimento e memoria. Ma indebolendo le sinapsi il sonno evita che i neuroni siano sovraccaricati dall'esperienza quotidiana e consumino troppa energia.

LE SCIENZE S.p.A.

Sede legale: Via Cristoforo Colombo 98, 00147 ROMA.

Redazione: tel. 06 49823181
Via Cristoforo Colombo 90, 00147 Roma
e-mail: redazione@lescienze.it
www.lescienze.it

Supervisione editoriale: Daniela Hamaui

Direttore responsabile
Marco Cattaneo

Redazione
Claudia Di Giorgio (*caporedattore*), Giovanna Salvini (*caposervizio grafico*), Cinzia Sgheri, Ale Sordi (*grafico*), Giovanni Spataro

Collaborazione redazionale
Folco Claudi, Gianbruno Guerrerio
Segreteria di redazione: Lucia Realacci
Progetto grafico: Giovanna Salvini

Referente per la pubblicità
A. Manzoni & C. S.p.A.
agente Paolo Bardelli (tel. 02 57494338, 335 6454332)
e-mail pbardelli@manzoni.it

Pubblicità:
A. Manzoni & C. S.p.A.
Via Nervesa 21, 20139, Milano, telefono: (02) 574941

Distribuzione per l'Italia
Gruppo Editoriale L'Espresso,
via Cristoforo Colombo 98, 00147 Roma.

Stampa
Rotosud: Loc. Miole Le Campore-Oricola;
Legatoria Europea (allestimento) Ariccia (Roma).
Copertina: Puntoweb, Via Variante di Cancelliera, snc, 00040 Ariccia (RM).

Consiglio di amministrazione
Corrado Corradi (presidente), Michael Keith Florek (vice presidente), Gabriele Acquistapace, Markus Bossle, Stefano Mignanego

Responsabile del trattamento dati (D. lgs. 30 giugno 2003 n.196):
Marco Cattaneo

Registrazione del Tribunale di Milano n. 48/70 del 5 febbraio 1970.
Rivista mensile, pubblicata da Le Scienze S.p.A.
Printed in Italy - agosto 2013

Copyright © 2013 by Le Scienze S.p.A.

ISSN0036-8083

Tutti i diritti sono riservati. Nessuna parte della rivista può essere riprodotta, rielaborata o diffusa senza autorizzazione scritta dell'editore. Si collabora alla rivista solo su invito e non si accettano articoli non richiesti.

SCIENTIFIC AMERICAN

Editor in Chief: Mariette DiChristina; *Executive editor*: Fred Guterl; *Managing Editor*: Ricki L. Rusting; *Board of Editors*: Mark Fischetti, Christine Gorman, Anna Kuchment, Michael Moyer, Gary Stix, Kate Wong, David Biello, Larry Greenemeier, Ferris Jabr, John Matson

President Steven Inchcoombe;
Executive vice president: Michael Florek;
Vice president and associate publisher: Michael Voss;
Design Director, Michael Mrak

Hanno collaborato a questo numero
Per le traduzioni: Elena Bernacchi: *Albe di cieli lontani;* Alessandro Delfanti: *Muri d'acqua;* Andrea Capocci: *Crepe nella tavola periodica*; Mauro Capocci: *La peste del passato e del futuro*; Alex Saragosa: *La tempesta del secolo;* Cristina Serra: *Una volta ciechi, ora in grado di vedere;* Laura Servidei: *Sabbie, bitume, effetto serra;* Alfredo Tutino: *Il senso del lutto negli animali.*

In conformità alle disposizioni contenute nell'articolo 2 comma 2 del «Codice Deontologico relativo al trattamento dei dati personali nell'esercizio dell'attività giornalistica ai sensi dell'Allegato A del Codice in materia di protezione dei dati personali ex d.lgs. 30 giugno 2003 n.196», Le Scienze S.p.A. rende noto che presso la sede di Via Cristoforo Colombo, 90, 00147, Roma esistono banche dati di uso redazionale. Per completezza, si precisa che l'interessato, ai fini dell'esercizio dei diritti riconosciuti dall'articolo 7 e seguenti del d.lgs.196/03 - tra cui, a mero titolo esemplificativo, il diritto di ottenere la conferma dell'esistenza di dati, la indicazione delle modalità di trattamento, la rettifica o l'integrazione dei dati, la cancellazione ed il diritto di opporsi in tutto od in parte al relativo utilizzo - potrà accedere alle suddette banche dati rivolgendosi al Responsabile del trattamento dei dati contenuti nell'archivio sopraindicato presso la Redazione di Le Scienze, Via Cristoforo Colombo, 90, 00147 Roma.

ABBONAMENTI E ARRETRATI
SOMEDIA S.p.A.
Casella Postale 10055 - 20111 Milano
Tel. 199.78.72.78 (0864.256266 per chi chiama da telefoni cellulari. Il costo massimo della telefonata da rete fissa è di 14,37 cent di euro al minuto più 6,24 cent di euro di scatto alla risposta (iva inclusa). Per chiamate da rete mobile il costo massimo della chiamata è di 48,4 cent di euro al minuto più 15,62 cent di euro di scatto alla risposta (iva inclusa). Fax 02 26681991.
Abbonamenti aziendali e servizio grandi clienti
Tel. 02 83432422; fax 02 70648237;
mail grandiclienti@somedia.it

Italia

abb. annuale	€ 39,00
abb. biennale	€ 75,00
abb. triennale	€ 99,00
copia arretrata	€ 9,00

Estero

abb. annuale Europa	€ 52,00
abb annuale Resto del Mondo	€ 79,00

Accertamento diffusione stampa certificato n. 7440 del 10/12/2012

Phil Boorman/cultura/Corbis (*tablet*); Jose Luis Pelaez Inc/Blend Images/Corbis (*bambina*)

Le Scienze

edizione italiana di Scientific American

SPECIALE ABBONAMENTO

Ogni mese direttamente a casa tua le ultime frontiere della ricerca scientifica e tecnologica.

IN ESCLUSIVA, solo con l'abbonamento, ti assicuri la possibilità di consultare sul **nuovo sito www.lescienze.it** gli oltre **4.200 articoli** pubblicati dal 1968 ad oggi!

E, se vuoi, puoi decidere di **regalare l'abbonamento alle stesse condizioni!**

SCEGLI LA TUA OFFERTA!

DURATA	PREZZO DI COPERTINA	PREZZO PER TE	RISPARMIO
1 ANNO - 12 NUMERI	~~€ 54,00~~	**€39,00**	**€15,00**
2 ANNI - 24 NUMERI	~~€ 108,00~~	**€75,00**	**€33,00**
3 ANNI - 36 NUMERI	~~€ 162,00~~	**€99,00**	**€63,00**

Offerta valida solo per l'Italia

SCEGLI DI ABBONARTI!

- **È CONVENIENTE**
  Più aumenta la durata del tuo abbonamento, più aumenta il risparmio!
- **È COMODO**
  Riceverai Le Scienze ogni mese a casa tua senza alcun costo aggiuntivo e con il prezzo bloccato!
- **È FACILE**
  ✓ Collegati al sito www.ilmioabbonamento.it
  ✓ Chiama il n. 199.78.72.78* **(0864.25.62.66 per chi chiama da telefoni non abilitati o cellulari.)**
  *Il costo massimo della telefonata da rete fissa è di 14,37 cent di euro al minuto più 6,24 cent di euro di scatto alla risposta (iva inclusa). Per chiamate da rete mobile il costo massimo della chiamata è di 48,4 cent di euro al minuto più 15,62 cent di euro di scatto alla risposta (iva inclusa).
  ✓ Compila, stacca e spedisci - anche via fax - la cartolina che trovi nella rivista

LA NOTTE DEI RICERCATORI

OTTAVA EDIZIONE 8ª 2013

in Piemonte

venerdì **27 settembre**

Torino, Alessandria, Asti,
Biella, Cuneo, Verbania

UNA NOTTE
DI EVENTI, SPETTACOLI,
GIOCHI ED ESPERIMENTI
CON I RICERCATORI

Scopri il programma
completo di tutte le città

La Notte dei Ricercatori si svolge
contemporaneamente in 32 città italiane
www.nottedeiricercatori.it
e in tutta Europa
http://ec.europa.eu/research/researchersnight/

Per tutti quelli che non smetteranno mai di cercare

CREATIVA // Istituto d'arte applicata e design

www.nottedeiricercatori.it/piemonte

Promosso e finanziato da

Con il sostegno della

Compagnia di San Paolo

Sotto l'Alto Patronato del

Presidente della Repubblica

Con il patrocinio di

Ministero degli Affari Esteri

REGIONE PIEMONTE

PROVINCIA DI TORINO

CITTA' DI TORINO

Partner

AGORÀ SCIENZA
CENTRO INTERUNIVERSITARIO

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO

POLITECNICO DI TORINO

In collaborazione con

centroscienza

CREATIVA

coop Novacoop